No 185 (185) (2026)

The scientific heritage
(Budapest, Hungary)
The journal is registered and published in Hungary.
The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields.
Journal is published in English, Hungarian, Polish, Russian, Ukrainian, German and French.
Articles are accepted each month.
Frequency: 24 issues per year.
Format - A4
ISSN 9215 — 0365

All articles are reviewed
Free access to the electronic version of journal
Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.
Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

Chief editor: Biro Krisztian
Managing editor: Khavash Bernat

- Singula Aleksandra - Professor, Department of Organization and Management at the University of Zagreb (Zagreb, Croatia)
- Bogdanov Dmitrij - Ph.D., candidate of pedagogical sciences, managing the laboratory (Kiev, Ukraine)
- Chukurov Valeriy - Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Biochemistry of the Faculty of Physics, Mathematics and Natural Sciences (Minsk, Republic of Belarus)
- Torok Dezso - Doctor of Chemistry, professor, Head of the Department of Organic Chemistry (Budapest, Hungary)
- Filipiak Pawel - doctor of political sciences, pro-rector on a management by a property complex and to the public relations (Gdansk, Poland)
- Flater Karl - Doctor of legal sciences, managing the department of theory and history of the state and legal (Koln, Germany)
- Bence Orban - Doctor of sociological sciences, professor of department of philosophy of religion and religious studies (Miskolc, Hungary)
- Feld Ella - Doctor of historical sciences, managing the department of historical informatics, scientific leader of Center of economic history historical faculty (Dresden, Germany)
- Owczarek Zbigniew - Doctor of philological sciences (Warsaw, Poland)
- Gál Jenő - MD, assistant professor of history of medicine and the social sciences and humanities (Budapest, Hungary)
- Borbély Kinga - Ph.D, Professor, Department of Philosophy and History (Kosice, Slovakia)
- Eberhardt Mona - Doctor of Psychology, Professor, Chair of General Psychology and Pedagogy (Munich, Germany)
- Kramarchuk Vyacheslav - Doctor of Pharmacy, Department of Clinical Pharmacy and Clinical Pharmacology (Vinnytsia, Ukraine)

«The scientific heritage»
Editorial board address: Budapest, Kossuth Lajos utca 84,1204
E-mail: public@tsh-journal.com
Web: www.tsh-journal.com

CONTENT

ARCHITECTURE

Martynov V., Osypov S., Chernenko K., Buravchenko V.
THE PROBLEM OF USING WINDOW AND DOOR STRUCTURES MADE OF POLYVINYL CHLORIDE IN MODERN RESIDENTIAL CONSTRUCTION AND IN ARCHITECTURAL MONUMENTS 4

Orlenko M.
ANALYSIS OF STRUCTURAL FACTORS AFFECTING THE COMPLIANCE OF WINDOW UNITS WITH EXR1-EXR2 CLASSES BASED ON FIELD BLAST TEST RESULTS.....9

ART STUDIES

Aliyeva Sh.
AUTHOR'S ANGEL IN CINEMATOGRAPHY (BASED ON THE FILMS OF BELA TARR) 16

Nikolenko A.
50 SOLO DOUBLE BASS ETUDIES BY G. OKAN: TOWARDS THE PROBLEM OF INSTRUCTIONAL REPERTORY.....20

BIOLOGICAL SCIENCES

Burak L., Yegorova Z., Samankova N.
PLANT-BASED ADDITIVES IN CRAFT BREWING: FROM CHANGING COMPOSITION TO INCREASED FUNCTIONALITY 25

Tsygankova V., Andreev A.
APPLICATION OF POLYCOMPONENT BIOREGULATORS AND NOVEL PLANT GROWTH REGULATORS BASED ON NITROGEN-CONTAINING HETEROCYCLIC COMPOUNDS TO INCREASE YIELD AND IMPROVE PLANT ADAPTATION TO BIOTIC AND ABIOTIC STRESS FACTORS.....33

ECONOMIC SCIENCES

Tleshbayeva R., Cheirkhanova A.
DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF BUSINESS AND EDUCATION INTERACTION: THE CHINESE EXPERIENCE.....49

Iminova N.
IMPROVING STRATEGIC PLANNING AND CORPORATE GOVERNANCE.....55

HISTORICAL AND ARCHEOLOGICAL SCIENCES

Khodanovych O., Pecheniuk I.
PROPAGANDA ACTIVITIES OF THE OUN AND UPA (1941–1944): STRATEGY, MECHANISMS, AND REGIONAL DIMENSIONS OF INFORMATION-PSYCHOLOGICAL WARFARE 59

PEDAGOGICAL SCIENCES

Abdullayeva N.
PROBLEMS AND STRATEGIES OF INTERCULTURAL CONTACT OF AZERBAIJANI STUDENTS DURING THE LEARNING PROCESS 68

Orujov Y., Nagiyev K., Abishov N.
APPLICATION OF PROJECT-BASED LEARNING AND CLUSTER METHODOLOGY IN TEACHING THE TOPIC OF AMINO ACIDS.....71

Shirinova S., Aliyeva N.
INVESTIGATING IDIOMATIC LANGUAGE IN ENGLISH AND AZERBAIJANI: A COMPARATIVE APPROACH 78

PHILOLOGICAL SCIENCES

Abdullayeva K., Karimova L., Amirova S.
LINGUISTIC DEVIATION AND NORMATIVE CONSTRAINTS IN AZERBAIJANI INTERNET LEXIS 83

Ajalova A.
CLASSICAL POETRY IN THE LITERARY ASSEMBLIES OF KARABAKH: THE LEGACY OF ABULHASAN SHAHID ...89

Aldongarova Sh.
GENRE FEATURES OF JUBATQAN MURATBAEV'S PROSE WORKS.....93

Mammadli M.
ON THE ISSUE OF THE MAIN SOURCES OF THE EMERGENCE AND REPLENISHMENT OF THE VOCABULARY OF THE ENGLISH LANGUAGE THROUGH BORROWINGS 96

PHYSICS AND MATHEMATICS

Milyute E., Milyus A.
MATHEMATICAL MODEL OF FLOW INDUCED BY A ROTATING DISK AND CORE IN A CYLINDRICAL RESERVOIR WITH TANGENTIAL INLET AND RADIAL OUTLET.....99

PSYCHOLOGICAL SCIENCES

Kudinova T., Sholudchenko I.
PRAGMATICS OF TESTING THE PROGRAM OF NEUROPSYCHOLOGICAL PREVENTION AND COGNITIVE PLASTICITY.....115

SOCIAL SCIENCES

Garayeva S.
LOCAL CULTURAL CODES AND GLOBAL INFLUENCES ON THE SOCIAL EXPERIENCE OF AZERBAIJANI WOMEN 123

TECHNICAL SCIENCES

Togzhanova K., Seidakhmetov A.
ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR SOFTWARE VULNERABILITY RISK ASSESSMENT 126

ARCHITECTURE

THE PROBLEM OF USING WINDOW AND DOOR STRUCTURES MADE OF POLYVINYL CHLORIDE IN MODERN RESIDENTIAL CONSTRUCTION AND IN ARCHITECTURAL MONUMENTS

Martynov V.
Doctor of Technical Sciences, Professor
ORCID: 0000-0002-0822-1970
Kyiv National University of Construction and Architecture
Osypov S.
candidate of technical sciences, assistant professor,
ORCID: 0000-0002-5851-3517
Kyiv National University of Construction and Architecture
Chernenko K.
candidate of technical sciences, assistant professor,
ORCID: 0000-0002-1616-5999
Kyiv National University of Construction and Architecture
Buravchenko V.
candidate of technical sciences, assistant professor,
ORCID ID: 0000-0003-0907-3014
Kyiv National University of Construction and Architecture
DOI: 10.5281/zenodo.20455912

Abstract

Construction in Ukraine is showing a gradual recovery, and despite the state of war, it has a steady growth trend. There is a redistribution of volumes between the construction of engineering structures towards industrial and residential buildings. This trend causes an increase in the volume of installation of window structures, which, considering the general needs of the post-war renewal of the industrial sector, civil construction and infrastructure facilities, can be characterized as large-scale.

In addition, we must also consider the volume of restoration of architectural monuments. The State Register of Immovable Monuments of Ukraine lists more than 20 thousand objects of architectural heritage, which characterizes the problem of their restoration as large-scale. At the same time, the volume of restoration of window structures of architectural monuments constitutes a disproportionately high share in the total volume of restoration, which is due to their most frequent destruction during hostilities.

The level of production capacity in Ukraine and the automation of processes allow domestic companies to meet the needs of the construction industry in the number of PVC window and door structures. Given the significant volume of work and a certain lack of qualified personnel to perform them, we must pay attention to global trends and the development of technologies in construction. This will significantly improve technical and economic indicators both in the process of building new facilities and in cases of restoring damaged structures. The use of modern solutions in PVC window installation systems (remote installation systems) allows you to significantly reduce time spent on the construction site. The presence of automatic production lines allows you to transfer part of the preparatory installation work directly to the place of manufacture of windows or doors (for example, the manufacture of mounting frames and their connection to structures). This also applies to architectural monuments, where, thanks to the presence of our own manufacturers of restoration profiles, it is possible to plan and use modern solutions that will save the building from destruction and carry out appropriate restoration work.

Keywords: residential buildings, architectural monuments, application problems, polyvinyl chloride window systems, installation and restoration processes, non-design impacts.

Introduction. The problem of using window and door structures made of polyvinyl chloride in the conditions of large-scale construction and restoration of destroyed and damaged housing and public facilities of Ukraine is associated with ensuring, firstly, the technical and economic efficiency of installation processes and, secondly, the required level of their resistance to outside design influences. This problem also exists for the conditions of restoration of architectural monuments, a significant number of which have suffered destruction and damage with almost complete damage to translucent structures; the volumes of restoration of window and door structures of architectural monuments of Ukraine are already characterized as large-scale [1]. Therefore, the problem of ensuring the technical and economic efficiency of the installation of translucent structures and the reliability of their operation in conditions of outside design influences is of national and industry significance.

Analysis of research and publications. The problem of using modern window and door systems in construction and in restoration conditions is covered in the works of many domestic and foreign authors [2...9], but these works almost do not touch on the issues of technical and economic efficiency of installation processes and the issue of ensuring the required level of resistance of installed or restored window and door systems outside the design influences, which are relevant

for the conditions of martial law and post-war restoration of Ukraine.

Task statement. Solving the problem of using window and door structures made of polyvinyl chloride in modern residential construction and in architectural monuments is possible on the basis of developing and substantiating a general concept for using window and door structures made of polyvinyl chloride in mass construction and restoring damaged housing and public facilities, and creating a system of optimal constructive and organizational and technological solutions of the required volume.

The main part. The general concept of the use of window and door structures made of polyvinyl chloride should take into account, firstly, the design and technological features of modern window and door systems presented on the market of goods and services, secondly, the characteristic parameters of construction, renovation and restoration facilities, thirdly, the technological parameters of the work front and organizational conditions and restrictions, and, finally, the ability of installed or renovated window and door systems to resist non-design impacts of a certain level.

In modern construction, the most widespread window systems are made of wood, aluminum and polyvinyl chloride, while polyvinyl chloride, according to the authors, is used in Ukraine in no less than 80% of cases, and the objects of application are mainly new residential and public buildings, architectural monuments during their restoration after damage outside the design influences and complex restoration of monuments, including those destroyed as a result of military operations.

The widespread use of polyvinyl chloride structures on the above-mentioned objects is due not so much to the cost of structures as to the availability of a wide range of products, the possibility of forming their desired shape and geometry (outline), the availability and possibility of quickly manufacturing the required volume of decorative elements, etc.

Polyvinyl chloride structures can be attributed to ultra-light building products that have the lowest specific gravity, they have logically simple rules for assembling, enlarging, transporting and performing installation operations of a minimal structure. Thus, window and door structures made of polyvinyl chloride to the greatest extent meet the conditions of manufacturability of construction processes - a simple installation process is considered technological if it consists of a minimum number of operations of the shortest duration, which have logical simplicity and do not require significant physical effort and expenditure of material and technical resources for their implementation and have the smallest number of performers.

Therefore, it can be stated that the use of window and door structures made of polyvinyl chloride fully ensures the conditions of manufacturability of their manufacture, transportation and the conditions of manufacturability of installation operations - installation manufacturability.

The problem of considering the characteristic parameters of construction, restoration and restoration objects is solved by studying these parameters on the corresponding representative objects with their subsequent statistical analysis.

The main characteristic parameters of the object are its purpose, main function, spatial planning and constructive solution, type, design and level of readiness of window and door openings, etc. For objects of restoration and restoration, the characteristic parameters are supplemented with data on the general technical condition of the structure (preservation - for architectural monuments), the technical condition of the openings and the window and door filling that is being replaced or restored.

The problem of considering the technological parameters of the work front and organizational conditions and limitations can be solved by analyzing and systematizing the actual indicators of the annual programs of contracting organizations specializing in the performance of the specified installation operations. In this case, it is necessary to separately consider the indicators of the annual programs describing new construction, restoration of destroyed or damaged housing and public facilities, and restoration of architectural monuments.

The main technological parameters of the work front include annual, quarterly, monthly and daily volumes of window construction installation with distribution by construction site, the corresponding achieved productivity (output) and product cost indicators. The main organizational conditions and limitations include the terms of work, annual, quarterly, monthly and daily modes of their execution, organizational breaks and their duration, etc.

The problem of considering the ability of installed or restored window and door systems to resist outside the design influences of a certain level can be solved by developing and substantiating special design solutions at the stage of design and manufacturing of load-bearing structural elements.

It is known that polyvinyl chloride profiles have increased elastic-plastic properties and relatively well cause resistance outside the design influences (shock wave), and the process of their manufacturing lends itself well to targeted adaptation to the set task - changing the thickness of the profile, adding reinforcing elements, etc.

The level of resistance is established by comprehensive experimental studies, in which the added value of the product is taken as the criterion of optimality. The parameters of the shock wave are taken from special sources.

So, we have a general concept of the use of window and door structures made of polyvinyl chloride, which provides technical and economic advantages in the conditions of large-scale construction and restoration of the destroyed and damaged housing and public infrastructure of Ukraine, including architectural monuments (Fig. 1).

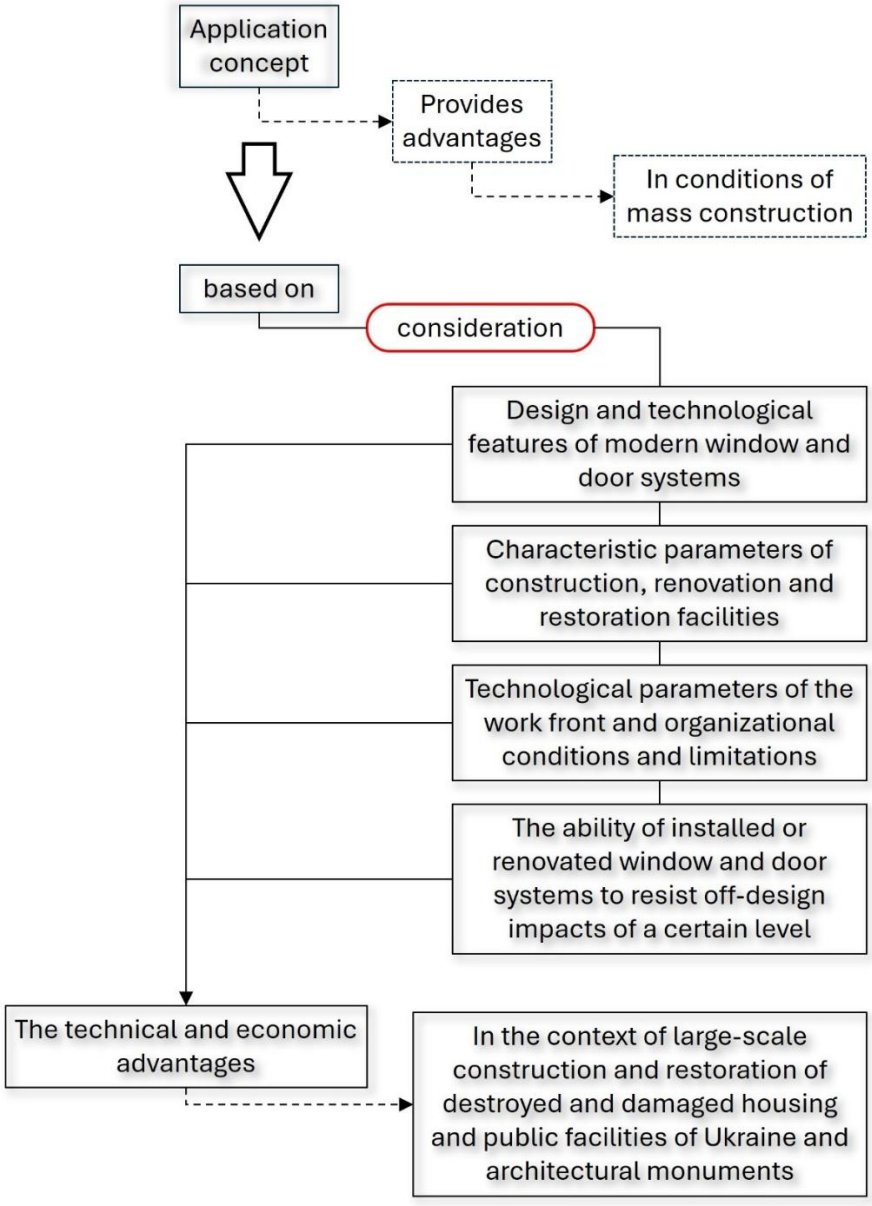
Application concept
Provides advantages
In conditions of mass construction
based on
consideration
Design and technological features of modern window and door systems
Characteristic parameters of construction, renovation and restoration facilities
Technological parameters of the work front and organizational conditions and limitations
The ability of installed or renovated window and door systems to resist off-design impacts of a certain level
The technical and economic advantages
In the context of large-scale construction and restoration of destroyed and damaged housing and public facilities of Ukraine and architectural monuments

Fig 1. General concept of the use of window and door structures made of polyvinyl chloride in Ukraine

Solving the problem of ensuring the technical and economic efficiency of installation processes is achieved by creating a system of optimal constructive and organizational and technological solutions of the required volume (Fig. 2), which involves the implementation of processes for improving a set of existing organizational and technological solutions taking into account the conditions of mass construction and the restoration of the destroyed and damaged housing and public infrastructure of Ukraine, including architectural monuments.

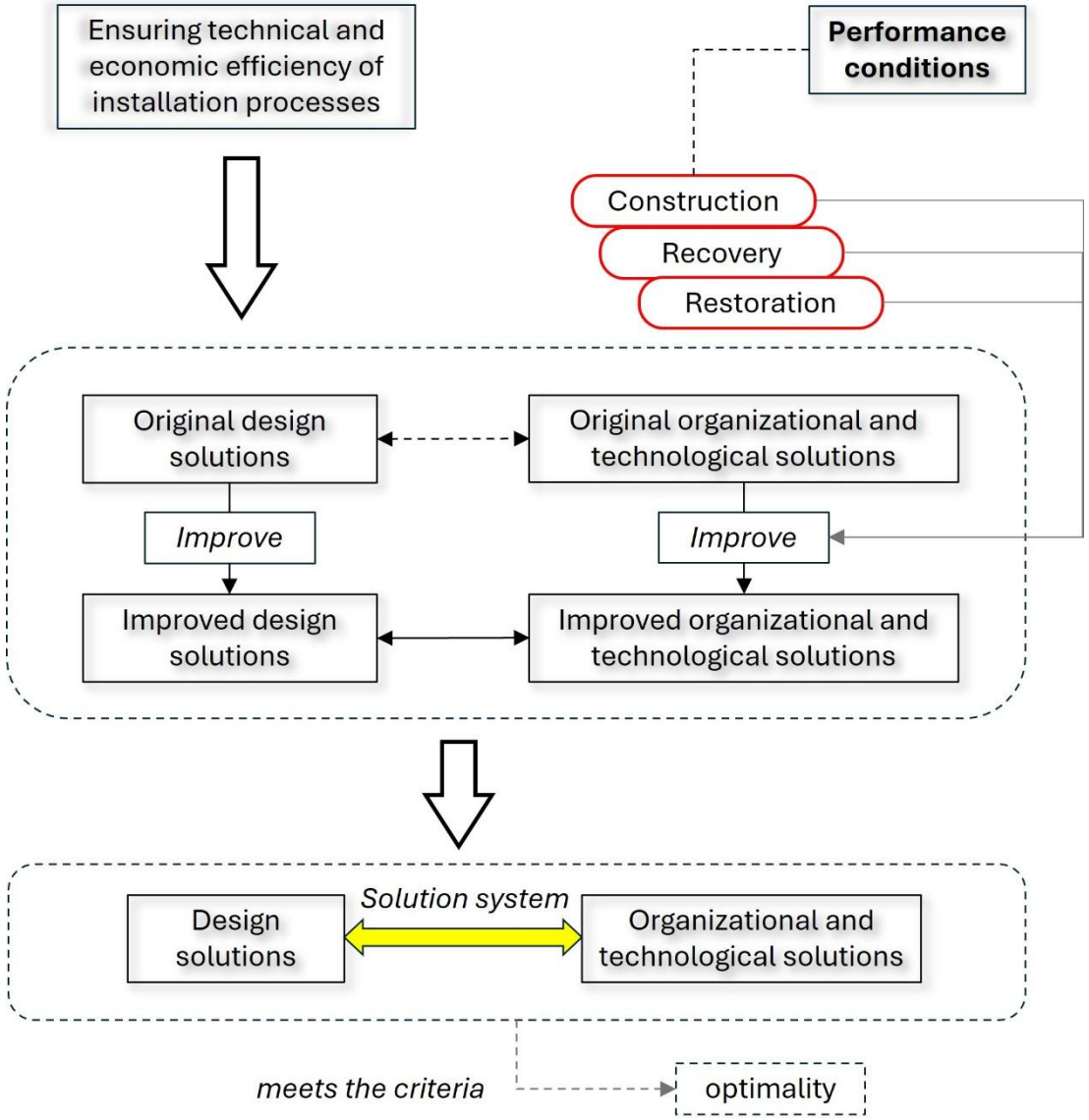

Fig. 2. Logical scheme for creating a system of optimal constructive and organizational and technological solutions

According to the results of improving the initial set of organizational and technological solutions, the initial set of constructive solutions is improved. At the same time, the process of improving constructive and organizational and technological solutions is interconnected and mutually dependent.

To perform the procedures for optimizing constructive and organizational and technological solutions, the following absolute and relative indicators of manufacturability can be used [10]:

absolute indicators of manufacturability:

– duration of the technological cycle (t_c), in units of time:3

$$t_c \to min; \quad (1)$$

– Labor intensity of production – specific labor costs (q), in units of working time per unit of output:

$$q \to min; \quad (2)$$

– number of operations (m) in a simple workflow:

$$m \to min; \quad (3)$$

– duration ($\sum t_{OTB}$) of organizational and technological breaks, in units of time:

$$\sum t_{OTB} \to 0; \quad (4)$$

relative indicators of manufacturability:

– level of mechanization ($K_м$) of the assembly process:

$$K_м \to 1; \quad (5)$$

– low-operation level (k) of the assembly process:

$$k = \frac{1}{m} \to 1; \quad (6)$$

– operational uniformity (ζ) of the assembly process:

$$\zeta = \frac{1}{1+\sum t_Y / \sum t_i} \to 1, \quad (7)$$

де $\sum t_Y$ – total duration of concurrent operations (outside cyclic), in time units;

$\sum t_i$ – total duration of all i– th operations of the assembly process, in units of time.

Conclusions. The problem of using window and door structures made of polyvinyl chloride in conditions of large-scale construction and restoration of destroyed and damaged housing and public facilities in Ukraine is solved on the basis of, firstly, the implementation of the developed concept of using window and door structures made of polyvinyl chloride, which takes into account the structural and technological features of modern window and door systems, the characteristic

parameters of construction, restoration and restoration facilities, the technological parameters of the work front and organizational conditions and restrictions, as well as the ability of installed or restored window and door systems to resist outside the design impacts of a certain level, and secondly, by creating a system of optimal structural and organizational and technological solutions of the required volume.

References

1. Poshkodzheni obiekty kulturnoi ta arkhitekturnoi spadshchyny za danymy Ministerstva kultury ta stratehichnykh komunikatsii, https://mcsc.gov.ua/news/1179-obyektiv-kulturnoyi-spadshhyny-postrazhdaly-v-ukrayini-cherez-rosijsku-agresiyu/

2. Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren für Neubau und Renovierung. - ISBN: 978-3-00-045381-6

3. A. Kryvosheyn. Nastanova po montazhu vikon z PVKh-profiliv OOO «VEKA» / [A. Kryvosheyn ta in.], 2005 - ISBN 5-93204-078-5

4. «Tendentsii vykorystannia suchasnykh vikon dlia zhytlovykh budynkiv». D.t.n. prof. V.R. Serdiuk, A.V. Honcharuk. UDK 621.577

5. V. Lytvyn, V. Mudrak, D. Firsov. Navchalnyi posibnyk «Montazhnyk vikonnykh ta dvernykh konstruktsii», 2023 UDK 692.81/.82-049.1]-057.162(075.8).

6. Sergei A. Osipov (2023). Current state of the basis of the theory of restoration processes // Prostorovyi rozvytok: Nauk. zbirnyk, Vyp. 6. S. 214-226. https://www.researchgate.net/publication/

7. O.L. Pidhornyi, I.M. Shchepetova, O.V. Serheichuk «Svitloprozori ohorodzhennia budynkiv». Kyiv 2005

8. Boryskyna Y.V., Plotnykov A.A., Zakharov A.V. Proektyrovanye sovremennыkh okonnыkh system hrazhdanskykh zdanyi. Uchebnoe posobye. M.: Yzdatelstvo ASV, 2003 – 320 s.

9. Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Benitz-Wildenburg «Fenstersanierung im Bestand Chancen, Herausforderungen und Lösungen für Planung und Montage», IFT Rosenheim, 2025.

10. Osypov O. F., Osypov S. O., Syhyda V. O., Osypova A. O. (2020) Obgruntuvannia tekhnolohii kompleksno-mekhanizovanoho demontazhu metalevykh kolon // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbir. – K.: KNUBA, 2020. – Vyp. 74. – S. 247-262.

ANALYSIS OF STRUCTURAL FACTORS AFFECTING THE COMPLIANCE OF WINDOW UNITS WITH EXR1-EXR2 CLASSES BASED ON FIELD BLAST TEST RESULTS

Orlenko M.
Kyiv National University of Construction and Architecture,
PhD student of the Department of Architectural Structures
ORCID: 0009-0001-9890-4520
DOI: 10.5281/zenodo.20455933

Abstract

The article analyses structural factors affecting the compliance of window units with EXR1-EXR2 blast-resistance classes based on full-scale field blast tests. The study is based on an experimental programme involving eleven window specimens of different compositions. Methodologically, the study distinguishes between an exploratory full-scale stage, during which critical structural zones were identified and technical hypotheses were verified, and a qualification stage, during which selected window systems were tested with official test protocols. It is shown that compliance with EXR classes is determined not by a single structural parameter, but by the systemic interaction of the insulating glass unit, the internal laminated pane, the frame profile, fittings, the fixed or floating mullion (stulp), and the installation joint. The use of shatter-resistant film and ESG tempered glass is considered separately. It was established that a film applied to glass without proper retention of the glazing within the frame cannot be regarded as an independent blast-protection solution and, under certain conditions, may form a large glass-film fragment hazardous to occupants. The experimental results also did not confirm the expected advantages of ESG in the tested insulating glass units compared with float glass. The key element of the insulating glass unit for reducing the risk of secondary fragments was identified as the internal 44.4 VSG laminated glass of P4A class. It is substantiated that the most extensively investigated configuration is the 'opening sash + fixed part' configuration separated by a fixed mullion, whereas floating-mullion (stulp) systems require further repeated testing.

Keywords: glazed building envelope elements, window units, shock wave, blast resistance, field blast tests, EXR1, EXR2, P4A, laminated glass, shatter-resistant film, tempered glass, fixed mullion, floating mullion (stulp).

Problem statement

Glazed building envelope elements are among the most vulnerable components of a building envelope under blast loading. Failure of the glass, frame profile, fittings or installation joint may lead not only to the loss of the enclosing function, but also to the formation of secondary fragments that are hazardous to occupants. According to the UNDSS information bulletin 'Blast Protection for Windows', in major bombing incidents 80% of victims were killed or injured by primary and secondary fragmentation, while flying glass fragments accounted for 80% of injuries and deaths caused by fragmentation [8]. This confirms that window systems should be considered not merely as enclosing elements, but also as potential sources of secondary injury.

The specific hazard associated with glazing is that, under blast overpressure, glass fragments may acquire velocity and kinetic energy sufficient to penetrate soft and hard surfaces [8]. Therefore, the objective of blast-resistant window design is not limited to preventing glass fracture; it also includes controlling the trajectory, size, mass and retention mechanism of fragments. In this context, strengthening a single component of the system does not guarantee safety: the glass, frame, fittings, anchorage and supporting substrate must be coordinated according to the principle of balanced protection.

For Ukrainian construction practice, the problem is particularly relevant because of damage to civil and critical infrastructure caused by blast effects. A common misconception is to equate the impact resistance of a separate material with the ability of the entire window unit to comply with an EXR class. In particular, the use of tempered glass or an applied shatter-resistant film is often perceived as a sufficient protective measure. The full-scale tests performed in this study showed that such solutions must be evaluated only as part of a complete system, taking into account the method of glazing retention in the frame, the window configuration, the behaviour of the fixed or floating mullion (stulp), the installation joint and the actual shock-wave parameters.

Review of recent studies and publications

International practice for assessing the blast resistance of glazed structures is based on full-scale field tests, shock-tube tests, engineering calculations and numerical simulation. Test and classification criteria are reflected in EN 13123-2, EN 13124-2, EN 13541, ISO 16933, ASTM F1642 and GSA-TS01 [1-3; 5-7], whereas EN 356 is used to classify security glazing by resistance to manual attack and is relevant for characterising P4A class [4]. In these documents, not only the fact of glass fracture is important, but also the nature of fragment penetration into the protected space. Reviews of contemporary design methods for blast-resistant facades and windows emphasise the need to consider the glazed structure as a single system comprising the glazing, frame, fixings and supporting substrate [9; 17].

The UNDSS bulletin emphasises that the analysis of blast effects on windows should include the entire window system: glass, frame, anchorage, supporting substrate, glass type, threat parameters, standoff distance and angle of incidence of the blast wave [8]. It also notes that shatter-resistant film (SRF) can reduce fragment projection only when properly installed. The simplest 'daylight application' scheme, where the film is applied only within the visible glass area and is not captured by the frame, has only negligible effectiveness

for blast protection, whereas attached or mechanically anchored systems are substantially more effective [8].

The issue of laminated glass and its impact-resistance classes is regulated by EN 356. Class P4A belongs to the P1A-P5A group of impact-resistant security glazing and requires testing with a 4.11 kg steel ball dropped from a height of 9000 mm, with three impacts arranged in a triangle [4; 10]. At the same time, P4A is not a blast-resistance class; its relevance for the structures considered in this study lies in the ability of the laminated layer to retain glass fragments and reduce the risk of secondary injury.

Previous works by the author and co-authors considered international standards for testing glazed structures and summarised the experience of a series of full-scale field tests of eleven window-unit specimens [11; 12]. However, for further use of these results in the dissertation research, a separate analysis of the structural factors affecting compliance with EXR1-EXR2 classes is required, taking into account both the exploratory and qualification stages of the experimental programme.

Aim and objectives of the study

The aim of the article is to analyse structural factors affecting the compliance of window units with EXR1-EXR2 classes based on full-scale field blast tests, while scientifically distinguishing between the exploratory stage of full-scale experiments and the qualification stage of protocol-based tests.

To achieve this aim, the following tasks were addressed: the eleven tested specimens were systematised according to glazing composition, frame profile, fittings, configuration and method of result documentation; the specimens whose results were confirmed by official protocols were identified; the role of P4A laminated glass, shatter-resistant films and ESG tempered glass was clarified; the limits of transferring the results to similar types of structures were determined; and practical conclusions for further design and testing were formulated.

Materials and methods

The object of the study is window units of different compositions tested on an open field test range under the action of an air-blast shock wave. Within the experimental programme, eleven specimens were tested. They differed in the composition of insulating glass units, the material and type of frame profiles, fittings, additional reinforcements, structural configuration and installation joint [12].

For correct scientific interpretation, the results were divided into two functional levels. The first level consisted of exploratory full-scale experiments. Their purpose was to identify critical structural zones, verify technical hypotheses, compare basic and experimental solutions, and prepare constructions for subsequent qualification testing. Some specimens of this stage did not have a separate official protocol; nevertheless, their results are significant as engineering-research data.

The second level consisted of qualification field tests performed after analysing the results of the exploratory stage. At this stage, selected or structurally refined specimens were submitted for testing with official protocols. These protocols constitute the basis for conclusions regarding compliance or non-compliance with a specific EXR class [13-15].

The assessment was carried out in accordance with DSTU EN 13123-2:2006 and the procedural part of DSTU EN 13124-2:2006. The key criteria were: absence of through-holes or gaps through which a rigid 10 mm diameter rod can pass; prevention of hazardous fragment projection into the protected space; retention of frame, glass and metal components within the structure; and absence of component ejection from the rear side of the specimen [1; 2; 13-15].

Considering the limited number of specimens and the uneven variation of factors, a full predictive regression model was not applied. The results are presented as a practical factor analysis suitable for engineering generalisation, development of structural recommendations and planning of subsequent controlled tests.

Table 1.

Generalised matrix of eleven tested specimens

No.	Code / specimen	Stage	Profile	Glazing / IGU (summary)	Configuration	Result / documentation
1	S1-01_2022	exploratory	VEKA MD, PVC 82 mm	4-4-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	EXR1 compliance according to exploratory-stage data; no separate protocol was issued
2	S1-02_2022	exploratory	VEKA MD, PVC 82 mm	6 ESG-4-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	non-compliance with EXR2 according to exploratory-stage data; ESG did not provide the expected advantage
3	S2-01_2023	exploratory	EPSILON MD, PVC 70 mm	4-4-4 without VSG	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	structural failure; no separate protocol was issued
4	231 / S2-02_2023	qualification	VEKA MD, PVC 82 mm	4-4-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	complies with EXR1 (NS); Protocol No. 4317/2023
5	345-B/1 / S3-01_2023	qualification	Reynaers ML8 HI, aluminium 77 mm	6-6-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	complies with EXR2 (NS); Protocol No. 345-B/2023
6	345-B/2 / S3-02_2023	qualification	Reynaers Sunrise, aluminium 77 mm	6-6-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	complies with EXR2 (NS); Protocol No. 345-B/2023
7	345-B/3 / S3-03_2023	qualification	VEKA MD, PVC 82 mm	4-4-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	does not comply with EXR2 (NS); Protocol No. 345-B/2023
8	S4-01_2024	exploratory	EPSILON MD, PVC 70 mm	4-4 + applied shatter-resistant film	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	failure; film-retained glazing formed a large fragment; no separate protocol was issued
9	796-B/1 / S4-02_2024	qualification	Reynaers Sunrise, aluminium 77 mm	6-6-44.4 VSG (P4A)	double-sash	does not comply with EXR2 (NS); Protocol No. 796-B/2024
10	796-B/2 / S4-03_2024	qualification	VEKA MD, PVC 82 mm + aluminium cover	4-4-44.4 VSG (P4A)	1 sash + 1 fixed part, fixed mullion	complies with EXR2 (NS); Protocol No. 796-B/2024
11	796-B/3 / S4-04_2024	qualification	Reynaers Sunrise, aluminium 77 mm	6-6-44.4 VSG (P4A)	double-sash with floating mullion (stulp)	complies with EXR1 (NS); Protocol No. 796-B/2024

Note: the exploratory stage is considered as a full-scale experiment for identifying engineering regularities; the qualification stage is considered as testing with an official protocol and a determination of compliance or non-compliance with a specific EXR class.

Results and discussion

The systematisation of the eleven specimens shows that the experimental programme was broader than the set of specimens for which separate official protocols were issued. Such a structure is methodologically justified for applied research: at the first stage, full-scale experiments are conducted to identify critical zones and technical limitations, whereas at the second stage the refined structural solutions undergo qualification testing. Therefore, all eleven specimens were used to analyse structural regularities, while conclusions regarding confirmation of EXR classes were formulated only for protocol-documented results.

The results recorded in official protocols allow the following relationships to be established: specimen 231 complied with EXR1 (NS); specimens 345-B/1 and 345-B/2 complied with EXR2 (NS); specimen 345-B/3 did not comply with EXR2 (NS); specimen 796-B/1 did not comply with EXR2 (NS); specimen 796-B/2 complied with EXR2 (NS); and specimen 796-B/3 complied with EXR1 (NS), not EXR2 (NS).

Table 2.

Specimens with official protocol documentation of results

Specimen	Protocol	Distance, m	Pso, kPa	Pr, kPa	Class conclusion	Engineering interpretation of the result
231	No. 4317/2023	5	86*	228*	complies with EXR1 (NS)	PVC 82 mm + internal P4A laminated glass provided EXR1
345-B/1	No. 345-B/2023	3	576.3	826.0	complies with EXR2 (NS)	aluminium profile + 6 mm outer panes + P4A provided EXR2
345-B/2	No. 345-B/2023	3	415.5	892.5	complies with EXR2 (NS)	Reynaers Sunrise aluminium system confirmed EXR2
345-B/3	No. 345-B/2023	3	564.6	802.1	does not comply with EXR2 (NS)	PVC 82 mm without additional reinforcement did not provide EXR2
796-B/1	No. 796-B/2024	3	324.0	1013.1	does not comply with EXR2 (NS)	6 mm panes did not compensate for configuration and joint-related features
796-B/2	No. 796-B/2024	3	302.9	1117.2	complies with EXR2 (NS)	PVC + aluminium cover increased contour stiffness
796-B/3	No. 796-B/2024	5	86*	228*	complies with EXR1 (NS)	floating-mullion (stulp) aluminium system confirmed EXR1; one specimen is insufficient for generalisation

Note: values marked with '*' are given as calculated or reference values for the relevant load scenario; these values use the parameters adopted for EN 13123-2 classes and are consistent with the Kingery-Bulmash calculation approach [1; 16]. Pso is the incident overpressure; Pr is the reflected overpressure.

Analysis of structural factors affecting compliance with EXR1-EXR2 classes

Insulating glass unit composition and the role of the internal laminated pane. The test results indicate that the key element of the insulating glass unit is not merely the use of a thicker or tempered outer pane, but the presence of an internal laminated pane capable of retaining fragments after the first layers have failed. In most protocol-confirmed structures, after detonation the first two panes of the insulating glass unit fractured, whereas the internal 44.4 VSG laminated layer with four 0.38 mm interlayers cracked but did not allow through-failure or spalling from the rear side. This behaviour made it possible to meet the EXR criteria regarding the absence of fragments in the protected space.

P4A class should be considered as a characteristic of impact-resistant laminated glass according to EN 356, not as an independent blast-resistance class. Its practical significance for the tested structures is that the laminated pane, positioned as the third pane, i.e. the internal pane on the room side, acts as a barrier against fragments from the first and second panes of the insulating glass unit. Therefore, for blast-protective insulating glass units, the most appropriate arrangement is to place the P4A laminated glass on the internal side, where it acts as the final fragment-retention layer.

ESG tempered glass. The exploratory full-scale stage made it possible to verify the common assumption that tempered glass automatically increases the blast resistance of an insulating glass unit. The results of specimen S1-02_2022 did not confirm this assumption for the tested configuration: ESG fragmented into small pieces and, in terms of its behaviour under blast loading, did not provide a fundamental advantage compared with 6 mm float glass. Therefore, the advantages of ESG under static or impact loads cannot be directly transferred to a short-duration blast impulse without full-scale verification of the specific system.

Shatter-resistant film. The result of specimen S4-01_2024 showed that applying a shatter-resistant film to glass without ensuring reliable retention of the glazing in the frame cannot be considered an independent blast-protection solution. Unlike failure with a dispersed cloud of small fragments, the film may bind glass fragments into a larger glass-film element in terms of mass and area; if ejected into the protected space, such an element produces a concentrated injury effect. This result is consistent with UNDSS recommendations, which state that the effectiveness of SRF depends on the installation method and that a daylight application without capture or anchorage in the frame has only negligible effectiveness for blast protection [8].

Frame profile system and stiffness of the load-bearing contour. Specimens 345-B/1 and 345-B/2 confirmed that aluminium profile systems have high potential for providing EXR2 in the 'opening sash + fixed part' configuration with a fixed mullion. At the same time, the result of specimen 796-B/1 showed that even an aluminium profile and 6 mm outer panes do not guarantee EXR2 if the configuration and joints of the structure create other critical load-transfer paths. Specimen 796-B/2 demonstrated the promise of a combined PVC + aluminium cover solution: with a 43.52 mm insulating glass unit and 4 mm outer panes, the structure complied with EXR2 owing to increased contour stiffness and the presence of internal P4A glazing.

Window-unit configuration. The most thoroughly tested configuration within the experimental programme was a two-part window unit separated by a fixed mullion: one fixed part and one opening sash.

This configuration provided the largest number of comparable results involving different insulating glass units, profiles and fittings. Therefore, the principal conclusions of the article primarily apply to this type of structure.

The floating-mullion (stulp) configuration was tested only on one specimen, 796-B/3, and confirmed compliance with EXR1. However, a single result is insufficient for scientifically justified generalisation regarding floating-mullion (stulp) systems. For this type of construction, a separate series of tests is required with repeated specimens and variation of the profile, locking scheme, number of locking points and load class.

Transferability of results. The results obtained for the 'opening sash + fixed part' configuration with a fixed mullion may be used as an engineering basis for single-sash and fixed windows, provided that the overall dimensions are similar or less critical, and that the same insulating glass unit, profile system, fittings and installation joint are used. Such transfer is justified because fixed and single-sash constructions have a simpler load-bearing scheme and fewer potentially weak joints. At the same time, any increase in glazing area or change in profile, installation method or load class requires additional verification.

Fittings and installation joint. The use of RC2-class fittings is an important prerequisite for retaining the sash, but it cannot be regarded as an independent guarantee of blast resistance. Fittings are effective only in interaction with the profile, reinforcement, sash geometry, number of locking points and quality of the installation joint. The installation joint and fixings act as components of the load-bearing contour through which dynamic load is transferred to the supporting substrate. Therefore, for blast-resistant windows, installation must be designed as part of the protective system rather than as an auxiliary construction operation.

Table 3.

Practical significance of the main structural factors

Factor	Established significance	Limitation or risk	Practical conclusion
Internal 44.4 VSG laminated glass (P4A)	retains fragments from the first glass layers and reduces the risk of secondary injury	does not compensate for a weak frame, fittings or installation	should be used as the third, internal pane of the insulating glass unit
Shatter-resistant film	may hold small fragments together	without anchorage in the frame, it may form a large glass-film fragment	should not be regarded as an independent blast-protection solution without testing the specific system
ESG	has advantages under ordinary impact or service conditions	under the tested blast conditions it did not show a significant advantage over 6 mm float glass	should not be used as the main blast-protection criterion
Aluminium profile	increases the stiffness of the load-bearing contour	the result depends on configuration and joints	promising for EXR2, but requires system-level verification
PVC + aluminium cover	reinforces the profile contour and may provide EXR2	requires verification of the specific size and configuration	promising combined solution
Fixed-mullion scheme 'sash + fixed part'	the most extensively investigated configuration in the programme	results should not be automatically transferred to floating-mullion (stulp) systems	may serve as a basis for designing fixed and single-sash windows
Floating-mullion scheme	EXR1 was confirmed on one specimen	one test is insufficient for generalisation	requires a separate series of studies

Practical recommendations

For structures aimed at EXR1, it is advisable to use internal laminated glass of P4A class, a reinforced PVC profile of sufficient installation depth, fittings with an adequate number of locking points and an installation joint that transfers dynamic load to the supporting substrate. The result of specimen 231 confirms the viability of this concept for EXR1 under the corresponding load conditions.

For structures aimed at EXR2, aluminium profile systems or combined PVC + aluminium reinforcement solutions are more substantiated. The experience of specimens 345-B/1, 345-B/2 and 796-B/2 shows that compliance with EXR2 is formed not only by the insulating glass composition, but also by contour stiffness, fittings performance, window-unit configuration and reliability of the installation joint.

It is not recommended to position ESG tempered glass or an applied shatter-resistant film as independent solutions for achieving blast resistance. ESG did not confirm the expected advantage under the tested conditions, while a shatter-resistant film without structural retention in the frame may change the failure pattern towards the formation of larger and heavier fragments. Such solutions may be used only as auxiliary elements after testing as part of the complete window system.

For floating-mullion (stulp) and double-sash systems, further research is required because their load-bearing scheme differs from the fixed-mullion configuration. Particular attention should be paid to the behaviour of the active and passive sashes, the number of

locking points, the stiffness of the central rebate and the behaviour of the installation joint under reflected pressure.

Conclusions

1. Within the experimental programme, eleven window specimens of different compositions were tested. Some specimens belonged to the exploratory full-scale stage without a separate official protocol, while others belonged to the qualification stage with protocol-based documentation of results.

2. The division of the programme into exploratory and qualification stages is methodologically justified: exploratory specimens make it possible to identify structural regularities, whereas claims regarding confirmation of an EXR class should be formulated only for results recorded in official protocols.

3. The key element of the insulating glass unit for reducing the risk of secondary fragments is the internal 44.4 VSG laminated glass of P4A class. In the tested structures, it acts as the third, internal pane retaining fragments from the first glass layers after their failure.

4. The exploratory full-scale experiments refuted the assumption that ESG tempered glass by itself provides a substantial advantage under blast loading. Under the tested conditions, its behaviour was close to that of float glass, and fragmentation did not guarantee the safety of the protected space.

5. Applying a shatter-resistant film without reliable retention of the glazing in the frame did not confirm its effectiveness as an independent blast-protection method. In specimen S4-01_2024, this scheme led to the formation of a large glass-film fragment, which may create a more concentrated injury effect than a dispersed cloud of small fragments.

6. The most thoroughly investigated configuration was the 'one opening sash + one fixed part' configuration separated by a fixed mullion. The results for this scheme may be used as an engineering basis for fixed and single-sash windows, provided that the dimensions are similar or less critical and the structural parameters remain unchanged.

7. The floating-mullion (stulp) configuration confirmed EXR1 on only one specimen; therefore, conclusions regarding floating-mullion (stulp) systems are preliminary and require continued full-scale testing.

8. Further studies should be conducted as a controlled factor experiment with sequential variation of one parameter at a time: glazing type, profile, opening configuration, fittings and installation joint.

Acknowledgements

The author expresses his gratitude to the specialists who participated in the preparation, execution and documentation of full-scale field tests of glazed building envelope elements. The article uses generalised engineering data necessary for scientific analysis; information that may disclose confidential elements of the test-range infrastructure is not detailed.

References

1. DSTU EN 13123-2:2006. Windows, doors and shutters. Explosion resistance. Classification and technical requirements. Part 2: Range test (EN 13123-2:2004, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2008.

2. DSTU EN 13124-2:2006. Windows, doors and shutters. Explosion resistance. Test method. Part 2: Range test (EN 13124-2:2004, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2008.

3. DSTU EN 13541:2014. Glass in building. Testing and classification of resistance against explosion pressure (EN 13541:2012, IDT). Kyiv: Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine, 2014.

4. EN 356:2000. Glass in building - Security glazing - Testing and classification of resistance against manual attack. European Committee for Standardization, 2000.

5. ISO 16933:2007. Glass in building - Explosion-resistant security glazing - Test and classification for arena air-blast loading. International Organization for Standardization, 2007. 22 p.

6. ASTM F1642/F1642M-17. Standard Test Method for Glazing and Glazing Systems Subject to Airblast Loadings. ASTM International, 2017. 6 p.

7. GSA-TS01:2003. Standard test method for glazing and window systems subject to dynamic overpressure loadings. US General Services Administration, 2003. 6 p.

8. Information Bulletin: Blast Protection for Windows. UN Department of Safety and Security. Division of Specialized Operational Support, Physical Security Unit, 2021. 39 p.

9. van der Woerd J.D., Wagner M., Pietzsch A., Andrae M., Gebbeken N. Design methods of blast resistant facades, windows, and doors in Germany: a review. Glass Structures & Engineering. 2022. Vol. 7. P. 693-710. DOI: 10.1007/s40940-022-00213-w.

10. Pilkington. Safety/Security glass. EN 356 Glass in building - Security glazing - Testing and classification of resistance against manual attack. URL: https://assetmanager-ws.pilkington.com/fileserver.aspx?cd=cd&cmd=get_file&ref=GL048 (accessed: 11.05.2026).

11. Orlenko M.O. Testing of translucent structures for resistance to shock waves: analysis of international standards and prospects for their application in Ukraine. Modern Problems of Architecture and Urban Planning. 2025. Issue 71. P. 658-669. DOI: 10.32347/2077-3455.2025.71.658-669. [in Ukrainian]

12. Orlenko M.O., Buravchenko V.S., Bisyk S.P. Experience of full-scale tests of window units of different compositions for shock-wave resistance. Strength of Materials and Theory of Structures. 2025. No. 115. P. 383-395. DOI: 10.32347/2410-2547.2025.115.383-395. [in Ukrainian]

13. Test Protocol No. 4317/2023 for the window submitted by LLC 'Kompaniia Vikna-Star', dated 22 May 2023 / Testing Laboratory of LLC 'Scientific and Engineering Centre for Testing Products and Protective Materials'. 5 sheets. [in Ukrainian]

14. Test Protocol No. 345-B/2023 of blast-resistant windows, dated 27 September 2023 / Research and Testing Department of the Scientific Research Centre for Testing, Expertise and Certification of Personal Armoured Protective Equipment of the National Defence University of Ukraine. 10 sheets. [in Ukrainian]

15. Test Protocol No. 796-B/2024 of blast-resistant windows, dated 28 December 2024 / Research

and Testing Department of the Scientific Research Centre for Testing, Expertise and Certification of Personal Armoured Protective Equipment of the National Defence University of Ukraine. 9 sheets. [in Ukrainian]

16. Kingery-Bulmash Blast Parameter Calculator. UN SaferGuard. URL: https://unsaferguard.org/unsaferguard/kingery-bulmash (accessed: 11.05.2026).

17. Zhang X., Hao H. The response of glass window systems to blast loadings: an overview. International Journal of Protective Structures. 2016. Vol. 7, No. 1. P. 123-154. DOI: 10.1177/2041419615626061.

ART STUDIES

AUTHOR'S ANGEL IN CINEMATOGRAPHY (BASED ON THE FILMS OF BELA TARR)

Aliyeva Sh.
ANAS, Literary Institute named after Nizami Ganjavi, department of Literary theory
https://orcid.org/0000-0002-3592-1577
DOI: 10.5281/zenodo.20455945

Abstract
The article examines the authorial and camera angles in the films of director Bela Tarr. An analysis of Bela Tarr's filmography in terms of perspective allows us to conclude that the author's perspective is built precisely in relation to the window in the films. The window is the main means of expression of the author's perspective in Bela Tarr's full-length feature films. In the first stage of his work, the perspective of looking in through the window is dominant, and in the second stage, the perspective of looking out through the window is dominant.
Keywords: Bela Tarr, author's angle, camera angle, point of view, cinema.

İntroduction: The importance of camera angle in cinematography stems from the fundamental function that visual elements play in shaping the language of cinema. Elements of cinematic language based on visual perception, such as montage, shot, and angle, are tools that distinguish cinematography from storytelling and reveal the "emotional consciousness of the camera". [Фельдман, 1959]. However, in cinema, there is not only the camera angle, but also the author's angle. The author's angle does not follow the camera, he observes what is happening from a single point of view. This perspective point of view, which has a static state like an immovable block whose axis does not change when lifted, and is sometimes identified with the character's point of view, determines where the author stands and from what angle he views the events. From this perspective, the double angle in cinematography - the participation of both the camera and the author's angle - leads to a double coding of the cinematic narrative.

Main part: Looking at a subject from a variety of perspectives opens up the subject's potential possibilities. Bela Tarr's filmography also presents to an audience a view of the same event from different heights - different levels of perspective on a single subject.

If we symbolically liken a director's work to the structure of a building, the perspective provided from different floors also becomes a factor that determines the director's angle. Bela Tarr's filmography reveals not only the content of the subject, but also the anatomy of the perspective from which the content is viewed, the duration of viewing, and the change that this duration creates. From this perspective, the director's full-length feature film creation can be divided into two stages: the initial stage, in which he drew towards documentary and social realism and highlighted social and socio-moral problems ("Family Nest", "The Outsider", "The Prefab People", "Almanac of Fall") and the second and final stage, where the visual elements of the cinematic language are at the forefront – the presentation of minimum communication and maximum image ("Damnation", "Satantango", "Werckmeister Harmonies", "The Man from London", "The Turin Horse"). The difference between these two stages is characterized not only by the difference in filming method and authorial style, but also by the change in the author's angle.

Bela Tarr's first film, "Family Nest" reveals the socio-moral erosions against the backdrop of the breakup of a young family facing housing problems. The author poses the question of whether social problems stem from moral flaws, or whether moral flaws stem from social problems, against the backdrop of the contrasting events and social difficulties of his time, and invites the audience to think about the difficulties and advantages of new ways of living. Using the reportage method to convey maximum reality, the director works with close-ups, highlighting the character's monologues addressed directly to the camera. The director's first full-length film, "Family Nest" can be characterized as a place closer to the ground - the basement - in his filmography, which we symbolically describe as a multi-story building, and which is still a place of controversy. The same theme - the impact of social difficulties on the breakdown of families - is continued in the film "The Prefab People": individuals deprived of emotional intelligence caused by social problems are in search of new forms of living. Having characters talk about their problems directly to the camera turns the viewer into a participant - a party to the dialogue - by setting the camera angle directly opposite the character - at eye level. Eye contact and hearing social, moral, and ethical issues directly from the character's perspective is the first step towards understanding individuals.

In "The Outsider," the social conflict from the previous films transitions into personal conflict with subtle details. Andras, a musician who abandoned his newborn baby and wife, has to change jobs frequently due to his behavior. An unstable social environment and an unbalanced psychological state reveal that his conflict is an internal one. The lack of family ties – the feeling of alienation from his brother, his own family – leads to him becoming an outsider – a constant outsider.

Although Tarr departs from the style of documentary realism with the film "Almanac of Fall", the close-ups and dialogues suggest that existence and living in life are possible only through mutual dialogues and understandings. The housemate, her son, and three other residents try out a variety of ways to live together, and what happens "behind closed doors" in various rooms of the apartment is depicted with maximum naturalism.

Bela Tarr's work in the first phase is in search of new forms of human existence at each new stage, despite social despair and impasse. In these films, the author's angle focuses on the interior of the house - what is between the four walls. Focusing the camera directly on the character's face and following the characters' facial expressions and gestures allows the problem to become concrete and materialized. The phrase "in close-up, the human face acts as a document" [Балаш, 1935] confirms the camera's documenting function. When the goal is to get to the ontological essence of the problem, the camera angle changes - instead of facing the characters, the camera starts following them, following them closely. At this point, the camera moves from passive observation to moving shoulder to shoulder with the characters like a living organism. This time, the author's angle focuses not on the inside of the house, but on the outside - on the views seen through the windows.

Bela Tarr's windows

With the film "Damnation", Bela Tarr began his collaboration with Hungarian writer Laszlo Krasznahorkai. At the same time, the films he made with composer Mihaly Vig and the director's wife, editor and director Agnes Hranitzky, constitute the second and cult stage of Bela Tarr's filmmaking. As a result of this collaboration, the writer, composer and editor rise to the level of film authors, and works emerge that organically incorporate the unity of literature, music, and cinematography.

The first frame of "Damnation" which laid the foundation for a new phase in Bela Tarr's work and defined the director's authorial angle, opens with a view of cable cars through a window. The main character, Karrer's suppressed courage, desires, and the pressure of his dreams become factors that determine his depressive behavior. This depressive and melancholic state is further enhanced by the static nature of the camera and the use of long, slow shots. In fact, minimizing the speed of events creates the effect that nothing is actually happening on the screen. The character's "immobility" contrasts with the dance scene in the bar, and through parallel montage, the emptying of the dance floor, the betrayal of the woman he loves - the only person he trusts, breaks his last drop of faith in himself and people, and causes him to completely distance himself from society. Karrer's report to official administration to "restore justice" by exposing his own plan also visualizes the character's moral surrender.

This act of surrender is continued in the director's next film, "Satantango": It's as if two reports and applications are being reviewed in two apartment on top of each other. The return of Irimiash and Petrina, suspected of fraud and deceit and rumored to be dead, to the village creates a revival among the villagers. The farm residents, who plan to build a new life by taking their share of the collective labor, fall into "Irimiash's nationwide spider web" (Irimiash's definition of himself) under the influence of Irimiash's oratory skills and fictitious plans for a bright future.

Revealing the essence of human nature and violence against the backdrop of the collapse of a farm - a social structure - the director identifies his authorial perspective with that of the Doctor's character: the Doctor, who observes and records what is happening in the village from his window, is actually writing the anatomy of deception.

The camera joins the characters, walking alongside those who are ready to deceive and be deceived, and the film's over-the-shoulder and behind-the-scenes shots draw a sharp line between the author's angle and the camera's angle: the author observing from the window and the camera walking through the illusions. This double perspective encodes both the technical and the emotional point of view of the character-author.

The static shooting method slows down the movement in front of it, seemingly enlarging the scale of individual objects and minimizing the rhythm of even the most visually dynamic scenes. The contrast created by the technical method and the logic of the text becomes the main factor determining the rhythm of the film: while the visually dynamic tango scene has a static quality, the static scenes – the doctor sitting in front of the window, scribbling in his notebook, the frozen state of the girl named Estike, preparing for her death with the cat she killed in her arms – create dynamism. The moment that creates dynamism is the 0.1-second revolution within the static - the girl who cruelly killed the cat tries to meet death with dignity by tidying up her hair with a single movement of her hand, preparing for her own death with dignity. The girl, witnessing the tango, which is apparently the loudest scene in the film, feels this swampy stagnation. In the example of the violent tango on the dance floor, the realization of her violence against the cat leads her to a bottomless pit and leads to suicide. For the girl who is about to die by drinking rat poison, death is the most beautiful, peaceful, innocent way out in this swamp where everyone is deceiving each other. The discrepancy between internal and external signs, one of the main features of carnival aesthetics, manifests itself in the tragedy of this last communal fun before collapse. The last tango of collectivism retains a spirit of mourning for the past, for the experiences that have been shared, and in contrast to the rhythmic tango, it instills sadness. In this case, sadness becomes not only a psychological state but also a state that questions physical existence - you can die of sadness. If you do not join the rhythm of the dance, if you do not repeat this dizzying mantra, if you look as if you are looking out the window, you can die of sadness (just as Estike commits suicide). The closing of the window at the end of the film – the Doctor's nailing pieces of wood to the window to block the view – was a way to escape death.

In general, in Tarr's films, especially in "Damnation" and "Satantango", the dance scenes in bars and dance floors are the opposite of the concept of celebration and fun. The accordion accompaniment, which constantly plays in the background and reinforces the melancholy and nostalgia, cannot be silent along with the rain and wind in the film.

Mihaly Vig's music, heard through an open window, tells of the existence of people somewhere on the other side of the window, in places we cannot see with our eyes, who are also suffering the same pain. That is why music in these films acts as an organic member, not accompanying the plot, but rather entering into the dialogue. This music is what makes the films bearable: the presence of those who share the same sorrow and

fate, even if they are far away, gives comfort to the person (the characters), and this comfort - the presence of fellow sufferers who exist far away - is confirmed by Mihaly Vig's music. In Tarr's films, no force can interrupt the music - the events taking place in parallel with the music on the dance floors and in the bar - crimes, severe interrogations, interrogations, heartbreaks, fights, the most intense arguments - nothing can cover up and bury the music: the music accompanies the most brutal scenes, promoting the logic of coexistence, not the confrontation of good and evil. Based on the idea that boredom has the potential for aesthetic pleasure, French composer Erik Satie, who wrote works in the genre of "furniture music," uncovered the melodies of the monotony of everyday life. Tarr's "boring shots" contain, like these "boring music" melodies, the most ordinary, yet the most complex combinations: a confirmation that the seemingly simple situations in Tarr's filmography stem from the tension and energy behind the ordinary act of human behavior.

In the film "Werckmeister Harmonies", based on the novel "The Melancholy of Resistance" by Laszlo Krasznahorkai, the camera follows the human energy that destroys the harmony - the essence of life.

In the fast-paced, associatively linked film, the elderly art critic and composer Eszter, who dismisses composer Andreas Werckmeister's theory of musical harmony as nonsense, retreats to his room, while the young postal worker Janos acts as an observer at the center of events, witnessing how the depraved masses of people disrupt human harmony. If we proceed from the premise that cinematography, unlike dramaturgy, is "defined by a continuous stream of visual images," [Фельдман, 1959] we can see the full establishment of the power of the laws of cinematography by revealing the associative relationships between the frames of the film.

Tarr illustrates Werckmeister's idea that mathematical precision is the key to restoring harmony in music theory: a measured revolution, a mass of people executing specific orders, disrupts the natural course and sequence of events, creating disharmony. In the film, the mechanized and accelerated steps of the disgruntled and protesting crowd indicate the inhuman nature of the march. At this time, the camera becomes a participant, the angle is chosen in such a way that the viewer, through the camera's eyes, joins the crowd in committing atrocities, turning the hospital upside down, and mercilessly beating the patients - the power of the angle creates an effect of emotional solidarity. The accelerated frame effect returns to normal speed after the crowd leaves the hospital, the tempo slows down. The weakening of a chaotic crowd after committing a crime shows that the path of any chaos towards harmony is slow.

In the film "The Man from London," the event that disrupts the flow of everyday life is when a railway worker near the port witnesses a crime. Maloin, whose main job is to monitor the arrival and departure of trains approaching the port, loses his inner balance after becoming a kind of accomplice to the crime by taking a suitcase full of money belonging to a murdered man. Maloin, who considers himself responsible for solving the crime he was involved in, punishing the criminal, and returning the money to those who are entitled to it, goes through stages of guilt and purification in a detective plot (the film is based on the screenplay adapted by Tarr and Krasznahorkai from Georges Simenon's novel "The Man from London"). But this purification itself is parallel to the sin, the character who kills the murderer and presents the suitcase of money in his house to the police inspector and awaits his legal arrest is rewarded with money in return. The windows in Maloin's house, closed by his wife, symbolize the impotence and hopelessness of the situation.

Kovacs statement confirming the presence of the observer character in the films allows us to suggest that the view from the window is also the author's perspective: “In the majority of the films made after Almanac of Fall we find a lonely, marginalised protagonist who takes on an outsider’s or an observer’s position (Karrer in Damnation, the doctor in Satantango, Valuska in Werckmeister Harmonies, Maloin in The Man from London) [Kovacs, 2013]. In Tarr's filmography, windows have an observatory, controlling, and sometimes ruling function: there is always material to watch: "Damnation" depicts the futility of human hopes, "Satantango" depicts the collapse of a village - a community full of deceptions, "The Harmony of the Werckmeister" depicts chaos and the destructive power of the crowd, and "The Man from London" traces the criminal and punishment procedure. Closing these windows, which become a symbol of hopelessness and a visual executioner, closing even the slightest place of hope, symbolizes the characters' escape from any vital initiative and their state of stagnation. Even in "Satantango," the Doctor's not only closing the window at the end, but also nailing it with large planks, is not the end: the physical limitation of the view from the window does not mean that that view disappears. The window to this view will close for the last time in 2011, at the house in the "Turin Horse."

When there's nothing left to look at

The film "The Turin Horse," directed by Bela Tarr and based on Laszlo Krasnahorkai's essay "At the latest in Turin" is the architect's last full-length work.

In "The Turin Horse," the world seen through the window has reached its point of disappearance. The absolute emptiness seen through the window visualizes that there is no longer a landscape to look at. Perhaps this is why the director declared that he would not make a feature film after "The Turin Horse": if there is no point to look at, there is no cinema.

The father with paralyzed right hand, and the daughter, who never tires of the same routine, who undresses and dresses her father with the same energy, cooks potatoes, eats, washes dishes and clothes and sleeps in the same position at the same time, are cut off from their connections with the outside world due to the hurricane. Signs of life fade away one by one: the ever-heard sounds of woodworms cease, the horse refuses to eat, the water in the well dries up, the hearth goes out... And it becomes impossible to leave these places: the devil restores his power - Tarr destroys the world that God created in six days in six days and proves Nietzsche right. The life seen through the windows of the " Turin Horse" establishes the rules of the "Anti-Bible" that the gypsies left for the girl. Realizing that they can

no longer get away, the father and daughter face the end of the world in their hut. At this moment, the shot of the girl looking out the window and the director's authorial angle are reversed - the camera angle and the authorial angle become equal: this shot, which visualizes the camera and the author's face, which are left alone and face to face with the girl in the window, becoming the window, the point of collision between the gazes of the Inside and the Outside, confirms that there is nothing left to look at outside.

The events taking place on the lower floors of the building designed by Bela Tarr (in the early stages of his work) still inspire hope, as the characters fight for a better future and struggle to survive. As you climb to the upper floors, the eye sees further and further, the sense of hopelessness, deception, disappointment and abandonment gradually grows. On the top floor stands the "Turin Horse": there is no way out - absolute hopelessness, absolute existentialism, and this God-forsaken landscape marks the final point of Tarr's work.

Conclusion: An analysis of Bela Tarr's filmography in terms of perspective allows us to conclude that the author's perspective is built precisely in relation to the window in the films. The window is the main means of expression of the author's perspective in Bela Tarr's full-length feature films. In the first stage of his work, the perspective of looking in through the window is dominant, and in the second stage, the perspective of looking out through the window is dominant.

Bela Tarr's windows: 1. are soundproof; 2. are static; 3. non-breathable. These windows open to various illusions and deceptions. Each window seeks the salvation of man and humanity, new ways of living, and the result proves that the end brought by all these paths is actually a new deception. Endless deceptions continue like a chain reaction - each new generation is doomed to create its own chain of deceptions, weaving each link of the chain with the most complex mechanisms. Bela Tarr opens his windows wide to these most diverse deceptions and he conveys his authorial perspective to the viewer precisely through the view from the window. His authorial perspective also defines his individual style.

References

1. Джозеф и Гарри Фелдман. Динамика фильма. Москва-1959
2. Бела Балаш. Дух фильмы. Москва – 1935
3. Andras Balint Kovacs. The cinema of Bela Tarr: the circle closes, 2013

50 ЕТЮДІВ ДЛЯ КОНТРАБАСУ SOLO Г. ОКАНЯ: ДО ПРОБЛЕМИ ІНСТРУКТИВНОГО РЕПЕРТУАРУ

Ніколенко А.М.
Харківський національний університет ім. І.П. Котляревського,
викладач кафедри оркестрових струнних інструментів
https://orcid.org/0000-0003-1126-678X

50 SOLO DOUBLE BASS ETUDIES BY G. OKAN: TOWARDS THE PROBLEM OF INSTRUCTIONAL REPERTORY

Nikolenko A.
Kharkiv National University named after I.P. Kotlyarevsky,
lecturer at the Department of Orchestral String Instruments
https://orcid.org/0000-0003-1126-678X
DOI: 10.5281/zenodo.20455957

Анотація

У статті розглядається роль інструктивного матеріалу у професійному становлення музиканта-контрабасиста. Наголошено на значенні роботи над гамами, вправами та етюдами, як основи формування виконавської майстерності. Здійснено огляд інструктивної літератури для контрабаса, що охоплює класичні збірки західноєвропейських авторів і перекладення репертуару інших інструментів. Висвітлено проблему дефіциту вітчизняного матеріалу.

Abstract

The article examines the role of instructional material in the professional development of a double bass musician. The importance of working on scales, exercises and etudes as the basis for the formation of performing skills is emphasized. A review of instructional literature for the double bass is carried out, covering classical collections of Western European authors and transcriptions of the repertoire of other instruments. The problem of the shortage of domestic material is highlighted.

Ключові слова*:* контрабас, Г. Окань, етюд, інструктивний репертуар, виконавська майстерність, методика.

Keywords: double bass, G. Okan, etude, instructional repertoire, performing skills, methodology.

Вперше в контексті розвитку української інструментальної школи проаналізовано збірку українського музиканта Г. Оканя «50 етюдів для контрабаса solo». Підкреслено унікальність цього видання, як сучасного зразка вітчизняної школи, що поєднує суто технічну площину з елементами художньої виразності. Детально розглянуто методичні завдання п'ятдесяти етюдів, спрямованих на розвиток різних видів техніки: хроматичних, гамоподібних та арпеджійованих пасажів, подвійних нот, флажолетів, трелей; опанування різноманітних штрихів та їх комбінацій від базових (*détaché, legato*) до віртуозних (*spiccato, staccato*). Виявлено специфіку кожного етюду – від розвитку інтонаційної стабільності у складних тональностях (Етюд №5), до роботи над кантиленою та розподілом смичка (Етюди №№6, 8). Особлива увага приділяється зв'язку інструктивного матеріалу з художніми виконавськими завданнями, зокрема наводяться паралелі між технічними формулами етюдів Г. Оканя, віртуозними концертами Дж. Боттезіні та симфоніями Л. ван Бетховена (Етюди №№ 9, 11). Визначені етюди суто художньої спрямованості, які можливо презентувати в якості концертних віртуозних творів (Етюди №№ 25-28, 50). У висновках зазначається, що збірка етюдів Г. Оканя охоплює більшість видів виконавської контрабасової техніки. Твори можливо використовувати як у навчальному процесі, так і в якості постійної підтримки професійної форми, а художньо-змістовні зразки включати до концертних програм.

Дослідженню інструктивного репертуару для струнно-смичкових інструментів присвячено не надто багато праць. Серед них стаття А. Мельник, що зосереджена на етюдах і каприсах для скрипки в українській композиторській традиції. Зокрема розглянуто цикл етюдів О. Станка, «Каприс для скрипки соло» М. Скорика, «Слов'янське капричіо» Л. Колодуба. Дослідницею визначено, що ці жанри у творчості українських композиторів характеризуються концертною спрямованістю. І. Чернявський присвятив свій творчий мистецький проєкт докладному виконавському аналізу та науковому осмисленню скрипкових етюдів Ж.-Ф. Мазаса. Резюмуючи, дослідник трактує ці твори не лише як навчальний, але й як інтерпретаційний матеріал, повноцінну художню мініатюру, що відтворила логіку розвитку скрипкової віртуозності в європейській традиції XIX століття. Таким чином, з огляду на малочисельність праць, що вивчають інструктивний репертуар, залишається актуальним його подальше дослідження.

Не можливо виховати повноцінного фахівця-інструменталіста лише за умови вивчення творів художнього спрямування. Адже виконавська увага в цьому випадку спрямовується переважно в русло образного наповнення твору, в той час як контроль над технічною стороною виконання відходить на другий план. Зрозуміло, що для вільного володіння будь-яким інструментом необхідно мати міцну технічну базу. Забезпечити її можливо за умови при-

ділення достатньої кількості часу роботі над інструкти У контрабасовій нотній літературі існує чимало різноманітних етюдів. Серед найвідоміших – збірки та окремі опуси І. Білле, Т. Баттіоні, Дж. Боттезіні, І. Граб'є, І. Доцауера, Д. Драгонетті, Я. Кмента, Ф. Куммера, К. Монтанарі, Е. Нанні, С. Ратнера, Л. Сальві, Ф. Сімандла, Дж. Шторха, В. Штурма. Ці твори призначені як для початкового етапу навчання (Дж. Шторх. Етюд № 9, Я. Кмент. Етюди №№ 1, 2, 5, Ф. Сімандл. Етюд № 4) так і для інструменталістів середніх і високих технічних можливостей (86 етюдів І. Граб'є, 20 віртуозних етюдів Е. Нанні, 20 концертних етюдів А. Менголі, 30 етюдів-каприсів для контрабаса Фр. Черні). Існує також чимало етюдів для інших інструментів, що використовують контрабасисти у своїй виконавській практиці. Це твори з віолончельного, валторнового, фаготового і навіть скрипкового репертуару, зокрема етюди Р. Крейцера у перекладенні Ф. Сімандла, Ж. Ф. Мазаса у перекладенні Е. Гюнтера.

Не зважаючи на те, що сучасні українські автори створюють музику для контрабаса (зокрема О. Безбородько), – ці опуси художнього спрямування. Для розвитку технічної бази контрабасисти користуються, переважно, доробком західноєвропейських композиторів. Отже, збірка етюдів відомого українського музиканта Г. Оканя «50 етюдів для контрабаса solo», як унікальний зразок вітчизняного інструктивного репертуару, заслуговує на особливу увагу.

Окань Григорій Олександрович (1947 р.) – український контрабасист, композитор і педагог. Випускник Одеської консерваторії ім. А. В Нежданової. Працював у Одеському академічному театрі опери та балету, пізніше у симфонічному оркестрі Дніпропетровської філармонії. З часом створив класи контрабаса у Дніпропетровському музичному училищі та консерваторії ім. М. Глінки, де працював на посаді старшого викладача.

Збірка «П'ятдесят етюдів для контрабаса solo» поділена на п'ять зошитів.

Перший зошит є першим розділом, що містить десять етюдів, присвячених штрихам *détaché*, *legato* та їх комбінованим варіантам.

Етюди мають різні темпи та фактурне наповнення. Зокрема ***Етюд № 1 a-moll*** (*Allegro*) викладений у однорідній фактурі шістнадцятими тривалостями у вигляді висхідних арпеджійованих пасажів. Найголовнішим завданням етюду є робота над якістю виконання штриха *détaché,* – основи багатьох штрихів струнно-смичкових інструментів, роботу над яким слід проводити на постійній основі.

Етюд № 2 G-dur (*Allegro*) основу якого складає синкопований ритм та акценти, продовжує завдання попереднього, однак вирізняється більшою динамічною та ритмічною різноманітністю.

Етюд № 3 D-dur (*Adagio)* Ускладнена ритмічна організація та щільна фактура дрібними тривалостями з чисельними мелізмами відносить твір до традицій повільних частин сонат віденських класиків. Відтворення адекватного ритму та щільного тембрового наповнення повільного темпу становить певні проблеми для виконавця та відповідні завдання для їх вирішення.

Етюд № 4 A-dur *(Andante)*, як і № 1, також викладений шістнадцятими тривалостями, однак в помірному темпі. Твір продовжує лінію етюдів на розвиток штриха *legato*, та окреслює додаткове завдання – плавне поєднання струн.

В ***етюді № 5 H-dur*** *(Allegro*), окрім удосконалення штрихів *détaché* та *legato*, задачею є відпрацювання вміння інтонувати у досить швидкому темпі, оскільки незручна для контрабасиста тональність етюду, у поєднанні з його активним характером та широким регістровим діапазоном, створюють додаткову інтонаційну незручність.

Етюд № 6 G-dur *(Allegro)* написаний у тричастинній формі, крайні частини якої являють собою проникливу мелодію широкого дихання. Для її належного виконання використовується широкий штрих *legato*, що потребує плавних змін смичка та відповідне його розподілення. Середній розділ містить арпеджійовані пасажі висхідної спрямованості. Додаткову увагу виконавцеві слід звернути на зміну ключів, в яких представлений етюд – басового, тенорового та скрипкового.

Етюд № 7 e-moll (Allegro moderato) націлений на відпрацювання комбінованого штриха.

Етюд № 8 g-moll (Lento) претендує на повноцінний художній твір. Його схвильований ліричний характер спрямовує увагу виконавця передусім на якість звуковедення в кантилені, що змушує працювати, перш за все, над розподіленням смичка та його плавними змінами.

Етюд № 9 Es-dur (Allegro ma non troppo) спрямований на вправне оволодіння комбінованим штрихом: дві ноти *détaché* та дві ноти *legato* з акцентом. Цей штрих часто зустрічається у художніх віртуозних творах, наприклад, у концерті h-moll для контрабаса з оркестром Дж. Боттезіні.

Помірно жвавий темп (*allegro moderato*), характер тематизму та риси прихованої поліфонії надають останньому в цьому зошиті ***етюду № 10*** характеру жиги, спонукаючи виконавця до його відповідної трактовки.

У **Другому зошиті** представлені три розділи, кожен з яких присвячений окремому різновиду контрабасових штрихів. *Другий розділ* концентрує увагу виконавця на пунктирному ритмі та несиметричному штриху.

Етюд № 11 B-dur *(Vivace)*. Інтонаційний характер тематизму та ритмічний малюнок, побудований на пунктирному ритмі в межах тріольності, дозволяє, подібно до етюду №10, порівнювати цей твір із жигою зі старовинної танцювальної сюїти. Такий зв'язок підкреслює характерну рухливість і ритмічну пластичність музичного матеріалу. Основне завдання етюду – опанування пунктирного ритму в тріольному поділі. Ця навичка зазвичай використовується в оркестровій практиці, зокрема під час виконання симфоній Л. ван Бетховена, де подібний ритм зустрічається доволі часто.

Етюд № 12 C-dur *(Allegro ma non troppo)* спрямований на виховання метроритму та розвиток

техніки лівої руки. Серед основних ритмічних труднощів – відчуття різниці між квартольним пунктиром та тріолями.

Етюд № 13 F-dur *(Allegro)* присвячений відомому автору школи гри на контрабасі XIX ст. Теодору Міхаелісу. Написаний етюд у формі варіацій. Тріольний ритм основної теми підкреслює її танцювальний характер, що нагадує тарантелу. Після теми слідують три контрастні за темпом варіації та кода. Серед основних технічних труднощів – розподілення смичка при виконанні несиметричного штриха, рельєфне відтворення загостреного пунктирного ритму та тріольних синкоп.

Третій розділ другого зошита присвячено штриху – *staccato*.

Етюди № 14 A-dur *(Allegretto)* ***та № 16 h-moll*** *(Allegro)* спрямовані на відпрацювання техніки пасажів на залігованому *staccato*.

Етюд № 15 a-moll *(Moderato assai)* містить складну ритміку та стрибки на широкі інтервали – септиму, нону, квартдециму та квінтдециму, підкреслені відривчастим *staccato.* Схожі завдання в **етюді № 17.**

Четвертий розділ присвячено стрибкоподібним штрихам – *spiccato* та *sautillé*. Зокрема, на відпрацювання *spiccato* націлені **етюди №№ 18 та 19**, *sautillé* – **№ 20.**

Третій зошит «П’ятдесяти етюдів для контрабаса solo» Г. Оканя складається з двох розділів. *П’ятий розділ* присвячено опануванню хроматичного руху.

Етюд № 21 C-dur *(Allegro)* спрямований на відпрацювання хроматичних пасажів у лівій руці, отже необхідно добре орієнтуватися в позиціях та напівпозиціях. Етюд ґрунтується на атональному хроматичному русі, вимагаючи від виконавця інтонаційно-слухової уважності. Додаткової уваги потребують періодичні зміни басового, тенорового, та скрипкового ключів, в яких написаний твір.

Етюд № 22 C-dur *(Agile)* спрямований на розвиток моторності, що зафіксовано у темповій ремарці. Мелодичний розвиток етюду охоплює широкий діапазон, що змушує виконавця добре освоїти гриф для вільної орієнтації у високих позиціях.

Етюд № 23 D-dur *(Allegretto)* має яскраво виражений танцювальний характер, що потребує не лише технічної вправності, а й усвідомленого підходу до його художнього змісту та інтерпретації.

Шостий розділ ставить перед виконавцем ряд завдань, пов’язаних з ритмічною організацією нотного тексту. Його визначальною ознакою є увага до виконання синкопованого ритму.

Етюд № 24 C-dur *(Moderato)* побудований на активному використанні міждольових сипкоп у розмірі 3/4, що формують складну ритмічну фактуру. Попри помірний темп, твір висуває підвищені вимоги до ритмічної організації. Основні труднощі полягають у частих ритмічних змінах, необхідності чіткого артикуляційного виділення слабких долей, а також у постійній концентрації на ритмічному контролі протягом усього твору.

Етюди № 25 B-dur *(Allegro),* ***№ 26 G-dur*** *(Allegro),* ***№ 27 Es-dur*** *(Allegretto)* та ***№ 28 D-dur*** *(Allegro possibile)* є яскравими зразками сольних віртуозних етюдів, що виходять за межі звичайного інструктивного репертуару. Твори поєднують технічну складність із глибоким художнім змістом, що робить їх важливою частиною виконавської практики. Основна складність творів полягає у наявності внутрішньодольових, міждольових, внутрішньотактових та міжтактових синкоп. Подібна організація вимагає від виконавця високого рівня ритмічної дисципліни, уважності до пульсації та чіткої артикуляції. Окрім складного ритму, етюди вирізняються різноманітною штриховою палітрою, зокрема *détaché, legato*, *spiccati*, *staccato*.

Четвертий зошит складається з трьох розділів. *Сьомий розділ* присвячено більш складним технічним задачам, що вже не можливо розглядати поза контекстом художнього образу. Перш за все, це мелізми, пасажі та подвійні ноти.

Етюд № 29 F-dur *(Allegro)* синтезує у собі відпрацювання виконання стрімких пасажів та виписаних тридцять другими тривалостями групето. В повільній частині *Lento* необхідно будувати музичні фрази з логічним спрямуванням та безперервним вібрато, дотримуючись м’якого звуковидобування та співучості штриха.

Етюд № 30 C-dur *(Allegro molto)* повністю побудований на пасажній техніці та має на меті розвиток моторики пальців лівої руки у швидкому темпі.

Етюд № 31 A-dur *(Moderato)* нагадує невеличку жанрову п’єсу пасторального характеру. Спрямований твір на відпрацювання форшлагів, *staccato*, акцентів.

Етюд № 32 C-dur має цікаву темпову ремарку – *Tempo arbitrio*, тобто «*у довільному темпі*». Твір продовжує образний ряд попереднього, однак з технічної точки зору присвячений роботі над виконанням трелей.

Етюд № 33 d-moll *(Andante molto cantabile).* Одним із центральних виконавських завдань у даному етюді є досягнення якісного, повноцінного озвучування подвійних нот – секунд, терцій, кварт, квінт, секст, октав. Систематична робота над цим видом техніки формує навички інтонаційного й динамічного балансу, а також культуру звуковидобування загалом.

Восьмий розділ присвячено таким специфічним прийомам гри, як *pizzicato* та *flageolet*.

Етюд № 34 Des-dur *(Allegro vivo)* створений для опанування прийому *pizzicato*. Основним технічним завданням стане досягнення ясного, контрольованого виконання *pizzicato* в різних регістрах інструмента.

Технічною специфікою та головним виконавським завданням ***етюду № 35 D-dur*** *(Moderato)* є якісне й стабільне видобування штучних флажолетів, на яких повністю побудований твір.

Етюд № 36 C-dur *(Allegro)* висуває до виконавця комплекс вимог, пов’язаних із точністю інтонування незручних інтервалів і стрибків у лівій руці при швидкому темпі, артикуляційною диференціацією штрихів (*legato*, *staccato*, *détaché*), а також із засвоєнням різноманітних ритмічних структур, таких як тріолі, квінтолі та секстолі.

Етюд № 37 G-dur *(Allegro moderato)* є прикладом віртуозного твору, що акцентує увагу на легкості штриха, точності змін позицій та загальній технічній досконалості виконавського процесу. Схожі завдання у ***Етюді №40 a-moll*** (*Allegro moderato*).

Етюд № 38 G-dur *(Andante mosso)* побудований у класичній варіаційній формі, яка включає тему, сім різножанрових та різнохарактерних варіацій, а також коду з двома каденціями. Така структура дозволяє всебічно розвивати як технічні, так і художньо-виконавські навички. Зокрема, ***Варіація №1*** (*Allegretto grazioso*) окреслює завдання відпрацювання тріольного ритму та точних переходів у позиції. ***Варіація №2*** *(Allegro assai vivace)* формує навички виконання короткого *détaché* та високої координації рук, а також відпрацювання стрибкоподібних позиційних переходів. ***Варіація №3*** *Allegro deciso* передбачає роботу з залігованими тріольними синкопами. ***Варіація №4*** *Andante sostenuto* вимагає виразного фразування, контрольованого розподілу смичка в кантилені, стабільної інтонації у широких інтервалах. ***Варіація № 5*** *Allegro vivo* містить велику кількість пасажів, виконання яких вимагає певної технічної вправності. Ліричний, аріозоподібний характер шостої варіації передбачає неперервну лінію *legato* та плавні зміни смичка. Легка танцювальна варіація ***№7*** *Allegretto grazioso e leggiero* вирізняється жвавим темпом і граціозним характером, визначаючи завдання відтворення точної артикуляції у штриху *staccato*, динамічної виразності, інтонаційної точності та збереження легкості звуковидобування.

Етюд №39 c-moll (*Moderato*) має скерцозний характер. Твір не сприймається як суто інструктивна вправа, скоріше – як характерна концертна п'єса, якій варто надати художньої виразності. Грати етюд потрібно із легкістю, враховуючи динамічні контрасти, та не вдаючись до зайвого форсування звуку.

П'ятий зошит має підзаголовок «Етюди-каприси», що одразу викликає асоціації з відомими віртуозними каприсами Ніколо Паганіні. Творчість Г. Оканя у цьому жанрі сприймається як своєрідний творчий експеримент, що поєднує технічну складність із художньою виразністю. Можливо саме такий вигляд мали б каприси Паганіні, якби він створював музику для контрабаса у XX столітті, враховуючи особливості інструмента та сучасні виконавські техніки.

Етюд №41 E-dur *(Andante)* відзначається виразним примхливим характером. Чергування ліричних та технічних епізодів вимагає від виконавця високого рівня технічної майстерності та інструментальної чутливості.

Етюд №42 a-moll (*Allegro*) характеризується численними змінами фактури, тональностей, розмірів та динамічних відтінків. Твір містить значну кількість залігованих хроматичних пасажів шістнадцятими тривалостями. Зважаючи на темп, його якісне виконання потребує певних віртуозних навичок.

Повільний, ліричного характеру ***Етюд №43 d-moll*** *(Adagio)* з частими модуляціями та гармонічними змінами, вимагає від виконавця високого рівня слухового контролю. Твір складається з контрастних епізодів як технічного плану, так і емоційного наповнення. Серед основних завдань – забезпечення плавності фразування, співучості тону, контролю динаміки та свідомого розподілу смичка.

Етюд №44 C-dur *(Allegro)* має жвавий, енергійний характер і складну ритмічну будову з асиметричними розмірами 7/8 та 3/8, що може викликати певні труднощі у малодосвідчених виконавців.

Етюд №45 C-dur *(Andante)* сполучає елементи романтичної виразності та віртуозної техніки. Твір має три різнохарактерні частини. Перша – повільна, з динамічною хвилею *mp → mf → f,* що передбачає поступове накопичення звучання та плавний штрих *legato* у сполученні з такою ж плавною, неспішною зміною позицій. Друга частина (*Allegro)* має контрастний, енергійний, віртуозний характер. Основна її особливість – каскад віртуозних залігованих пасажів у секстольному ритмі. Третя частина *Andante molto tranquillo* являє собою ніжну кантилену з прозорими флажолетами.

Етюд №46 C-dur *(Allegro brioso)* має жвавий, енергійний характер з жартівливим вогняним настроєм і чітким пульсом. Його атрибутами є змінний розмір (7/8, 5/8, 6/8), хроматичні пасажі, високі позиції, складна ритміка, часті зміни знаків альтерації.

Етюд №47 C-dur *(Allegro con spirito)* – швидко з захопленням. Твір спонукає до жвавого, енергійного, з чіткою артикуляцією та пульсацією виконання. Складається етюд з кількох контрастних розділів та містить стрімкі пасажі, хроматизми, синкопований ритм.

Виразний, співучий ***Етюд №48 C-dur*** *(Molto espressivo)* має речитативоподібний вступ з низки флажолетів, що згодом переходить у лінійну, ліричну мелодію з фігурацією. Позначка *«molto espressivo»* («дуже виразно») окреслює головну мету твору – глибоку виразність, співучість та красу звука. Таким чином, одним із виконавських завдань стане постійний контроль над вібрацією, якістю звуковидобування та прагнення до безперервності фрази.

Колоритний та різноплановий ***Етюд №49 a-moll*** *(Andante mosso)* поєднує в собі віртуозність, співучість, експерименти зі штрихами й тембрами, авангардні техніки. Серед специфічних засобів виражальності – *col legno* – удар тростини по струні, тремоло прийомом *pizz* з послідовним глісандо на наступну ноту. Хоча виконання етюду передбачає спокійний темп, – виконавець вільний виявити творчу фантазію і дозволити собі власне його трактування в межах відтворення образного змісту.

Останній етюд збірки ***№50 D-dur*** *(Allegro Maestoso)* має назву «Концертний етюд у стилі «ретро»». Це справжній художній твір, призначений як для виконання соло, так і з супроводом фортепіано (клавір виданий окремо у 2000 році). Складається етюд з кількох контрастних частин: урочистої

інтродукції, аріозоподібного розспівного *Moderato*, віртуозного стрімкого *Allegro* з висхідними пасажами штрихом *staccato*, спокійного вдумливого *Meno mosso* та традиційно блискучої коди. Серед виконавських завдань – відтворення чіткої виразної артикуляції та пружного ритму в Інтродукції; неспішне, співуче, дещо речитативне виконання *Moderato*; віртуозне подання висхідних стрімких пасажів у штриху *staccato в* розділі *Allegro* та блискучого легкого *détaché* в кульмінації й коді. Такі завдання вочевидь потребують стабільних, вже напрацьованих віртуозних навичок.

У результаті дослідження встановлено, що збірка «50 етюдів для контрабаса solo» Г. Оканя є універсальним інструктивним матеріалом, який забезпечує комплексний розвиток виконавської майстерності контрабасиста. Вона поєднує технічну системність із художньою виразністю, що значно розширює її функціональні можливості у навчальному та концертному процесі.

Доведено, що дане видання є вагомим внеском у розвиток української контрабасової школи та частково компенсує дефіцит вітчизняного інструктивного репертуару.

Список літератури

1. Боттезіні Дж. Етюди для контрабаса. Нью-Йорк, 1999. 95с.

2. Баренбойм Д. Музика і людство XXI століття. Лондон, 2021. 180с.

3. Безбородько О. Сучасна українська музика для контрабаса: тенденції розвитку. Науковий вісник НМАУ ім. П. І. Чайковського. Київ, 2021. 78-85с.

4. Кузьминський А. Формування виконавської майстерності контрабасиста у процесі професійної підготовки. Молодь і ринок. Дрогобич, 2020. 95-100с.

5. Карр К. Контрабас: історія та виконавська практика. Берклі, 1999. 240с.

6. Мельник А. Етюди та каприси (капричіо) в українській скрипковій мініатюрі. Проблеми взаємодії мистецтва, педагогіки та теорії і практики освіти. Харків, 2012. 332-344с.

7. Окань Г. 50 етюдів для контрабаса соло. Дніпро, 2000. 120с.

8. Сімандл Ф. Нова школа гри на контрабасі. Відень, 2005. 160с.

9. Сухомлин О. Методичні засади підготовки музикантів-інструменталістів у закладах вищої освіти. Педагогічні науки. Херсон, 2018. 56-62с.

BIOLOGICAL SCIENCES

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ДОБАВКИ В КРАФТОВОМ ПИВОВАРЕНИИ: ОТ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА К ПОВЫШЕННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

Бурак Л.Ч.
https://orcid.org/0000-0002-6613-439X
доктор философии в области пищевых наук (PhD), к.т. н,
директор ООО «БЕЛРОСАКВА», Республика Беларусь, г. Минск.
Егорова З.Е.
https://orcid.org/0000-0001-8015-527X
Белорусский государственный технологический университет, доцент, факультет технологии органических веществ, к.т.н. Минск, Беларусь
Саманкова Н.В.
https://orcid.org/0000-0003-4518-3480
Белорусский государственный экономический университет, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров, к.т.н. Минск, Беларусь

PLANT-BASED ADDITIVES IN CRAFT BREWING: FROM CHANGING COMPOSITION TO INCREASED FUNCTIONALITY

Burak L.
https://orcid.org/0000-0002-6613-439X
Doctor of Philosophy in Food Sciences (PhD), c. t. s.,
director of BELROSAKVA LLC, Republic of Belarus, Minsk
Yegorova Z.
https://orcid.org/0000-0001-8015-527X
Belarusian State Technological University, Associate Professor, Faculty of Technology of Organic Substances, Ph.D. in Engineering Minsk, Belarus
Samankova N.
https://orcid.org/0000-0003-4518-3480
Belarusian State University of Economics, Associate Professor of the Departmentof Commodity Science and Expertise of Goods, PhD in Engineering Minsk, Belarus
DOI: 10.5281/zenodo.20456068

Аннотация

Обогащение крафтового пива растительными компонентами является перспективной стратегией повышения его нутрицевтической ценности и расширения сенсорного профиля. Цель данного обзора — проанализировать влияние различных растительных экстрактов на физико-химические показатели, содержание фенольных соединений и антиоксидантный потенциал напитка. Исследование основано на анализе публикаций из баз данных PubMed, Science Direct и Web of Science. Установлено, что добавление растительного сырья существенно изменяет такие параметры, как цвет, pH, горечь и содержание алкоголя. В большинстве случаев наблюдается значительное повышение общего содержания фенолов и антиоксидантной способности, что способствует улучшению окислительной стабильности и продлению срока годности. Однако увеличение концентрации полифенолов может вызывать технологические сложности, такие как коллоидное помутнение продукта. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию условий внесения добавок для сохранения функциональных свойств при обеспечении высокой органолептической приемлемости и стабильности пива.

Abstract

Enriching craft beer with botanicals is a promising strategy for enhancing its nutraceutical value and expanding its sensory profile. The aim of this review is to analyze the effects of various botanical extracts on the physicochemical properties, phenolic content, and antioxidant potential of the beverage. The study is based on an analysis of publications from PubMed, Science Direct, and Web of Science databases. It was found that the addition of botanicals significantly alters parameters such as color, pH, bitterness, and alcohol content. In most cases, a significant increase in total phenolic content and antioxidant capacity is observed, which contributes to improved oxidative stability and extended shelf life. However, increased polyphenol concentrations can cause processing difficulties, such as colloidal clouding of the product. Further research should be aimed at optimizing additive addition conditions to preserve functional properties while ensuring high sensory acceptability and stability of the beer.

Ключевые слова: крафтовое пиво, растительные ингредиенты, физико-химические свойства, содержание фенолов, антиоксидантная активность.

Keywords: craft beer, plant ingredients, physicochemical properties, phenolic content, antioxidant activity.

Введение

Крафтовое пивоварение представляет собой динамично развивающийся сектор мировой пищевой промышленности. В отличие от массового индустриального производства, крафтовое пиво изготавливается независимыми пивоварнями в ограниченных объемах с использованием традиционных технологий и высококачественного сырья (солода, воды, хмеля и дрожжей) [1,2,3]. Характерной чертой крафтового процесса является отказ от пастеризации и микрофильтрации, что позволяет сохранить более высокое содержание биологически активных соединений, в частности полифенолов, и обеспечить значительный антиоксидантный потенциал по сравнению с промышленными аналогами [4,5].

В последние годы наблюдается растущий интерес к технологическим и творческим инновациям в пивоварении, что привело к активному использованию нетрадиционных ингредиентов: водорослей, лекарственных трав, грибов, фруктов, а также продуктов пчеловодства (прополиса) и кофе. Эти добавки не только формируют уникальные органолептические характеристики напитка — вкус, аромат и цвет, — но и придают ему функциональные свойства [6-10]. Одной из актуальных проблем крафтового пивоварения является постепенное снижение антиоксидантного потенциала в процессе хранения. Введение растительных компонентов, богатых природными антиоксидантами, позволяет минимизировать негативное воздействие свободных радикалов (активных форм кислорода, азота и серы), тем самым повышая стабильность продукта [11, 12]. Несмотря на более высокую стоимость, обусловленную качеством сырья и сложностью процессов, крафтовое пиво привлекает потребителей своей аутентичностью и восприятием как продукта, приносящего пользу здоровью [13-16]. Важнейшие биологически активные соединения пива, такие как полифенолы, могут частично утрачиваться при фильтрации или вследствие неоптимальных условий хранения [17,18]. Использование таких добавок, как манго, хурма, экстракты оливы и сок бергамота, позволяет компенсировать эти потери, улучшая профиль здоровья и органолептические показатели [19,20,21]. Фруктовые добавки обеспечивают естественную сладость, кислотность и сложность аромата, а использование вторичных продуктов агропромышленного комплекса способствует реализации принципов устойчивого производства [23]. Несмотря на наличие отдельных работ, посвященных влиянию конкретных добавок на антиоксидантную активность пива [24], сохраняется необходимость в комплексном анализе того, как растительные ингредиенты воздействуют на базовые физико-химические параметры (цвет, pH, горечь, кислотность и содержание алкоголя) в сочетании с их нутрицевтической ценностью. Цель обзора — систематизировать данные о влиянии растительных экстрактов на физико-химические показатели, содержание фенольных соединений и антиоксидантный потенциал продукта.

Материалы и методы

Для подготовки данного обзора был проведен поиск научной литературы в период с января по май 20256 года в базах данных PubMed, Science Direct, Web of Science и b-on. Поисковые запросы формировались с использованием ключевых слов «craft beer», «physicochemical properties», «polyphenolic content» и «antioxidant activity», объединенных логическим оператором «AND». В обзор включались оригинальные исследовательские статьи, в которых рассматривалось влияние растительных экстрактов на крафтовое пиво с акцентом на его физические и химические свойства. Рассматривались публикации на английском и русских языках без ограничения по дате выхода. Исключались обзорные статьи, работы, не связанные с внесением растительных добавок, а также исследования, фокусирующиеся исключительно на технических условиях производства без анализа свойств готового продукта.

Результаты и их обсуждение

1. Физико-химические свойства обогащенного крафтового пива

Внесение растительных добавок в крафтовое пиво неизбежно влечет за собой изменение его базовых физико-химических характеристик, таких как pH, горечь, титруемая кислотность и содержание алкоголя. Эти параметры критически важны не только для обеспечения качества и стабильности напитка, но и для его восприятия потребителем.

Цвет является одним из наиболее значимых органолептических показателей, определяющих первое впечатление потребителя о продукте. В пивоварении он традиционно оценивается по шкалам SRM (Standard Reference Method) или EBC (European Brewery Convention). Исходный цвет пива формируется преимущественно за счет реакции Майяра и карамелизации сахаров в процессе сушки и обжарки солода [25- 27]. Добавление растительного сырья, богатого природными пигментами, способно кардинально менять цветовую гамму напитка. Например, внесение ягод, таких как вишня, бузина, малина или экзотическая *Eugenia uniflora* (питтанга), придает пиву характерные красные и пурпурные оттенки благодаря высокому содержанию антоцианов [28,29]. В исследованиях было показано, что добавление ягод годжи (*Lycium barbarum*) смещает цвет в сторону янтарных и насыщенно-оранжевых тонов [30]. Интересные результаты получены при использовании лекарственных грибов. Так, добавление *Trametes versicolor* (трутовик разноцветный) приводило к значительному увеличению интенсивности цвета по сравнению с контрольным образцом [31]. Использование хурмы (*Diospyros kaki*) сорта 'Rojo Brillante' также повышало значения EBC, придавая напитку более теплые оттенки [32]. Напротив, некоторые добавки, такие как прополис, могут вызывать лишь незначительные изменения цвета, сохраняя традиционный вид светлого пива [33]. Важно отметить, что изменение цвета зависит не только от типа добавки, но и от момента ее внесения (на этапе кипячения сусла, во время основного брожения или при созревании). Стабильность растительных пигментов в

кислой среде пива также играет ключевую роль в сохранении привлекательного внешнего вида продукта в течение срока годности.

Показатель pH играет фундаментальную роль в обеспечении микробиологической стабильности пива и формировании его вкусового профиля. Для большинства сортов крафтового пива оптимальные значения pH находятся в диапазоне 3,9–4,6 [34]. Внесение растительных компонентов может оказывать как подкисляющее, так и буферное действие.

Добавление фруктов и ягод (например, малины, манго или плодов бергамота) обычно приводит к снижению pH и росту титруемой кислотности за счет содержания органических кислот — лимонной, яблочной и винной [35,36]. Повышенная кислотность не только придает напитку освежающий вкус, но и способствует ингибированию роста патогенных микроорганизмов. В то же время, некоторые добавки, такие как хмель в повышенных дозировках или специфические экстракты трав, могут незначительно повышать pH за счет содержания щелочных компонентов или изменения ионного баланса сусла. Исследования показывают, что использование прополиса практически не влияет на pH, что делает его удобным ингредиентом для функционального обогащения без изменения базового кислотно-щелочного баланса [37]. Горечь является ключевой характеристикой пива, традиционно обусловленной изо-альфа-кислотами хмеля. Измеряемая в единицах IBU (International Bitterness Units), она определяет баланс между солодовой сладостью и хмелевой сухостью [1]. Растительные добавки могут влиять на этот показатель двояко. С одной стороны, они могут содержать собственные горькие вещества (например, полынь, цедра цитрусовых или определенные виды грибов), что приводит к росту измеренных единиц горечи. С другой стороны, некоторые компоненты могут маскировать горечь хмеля на органолептическом уровне (эффект синергии или антагонизма). Например, добавление экстрактов оливы (*Olea europaea*) может повышать аналитически определяемую горечь [38], в то время как внесение сладких фруктов или меда может субъективно снижать восприятие горечи потребителем, даже если показатель IBU остается неизменным. Использование прополиса в крафтовом пиве также показало тенденцию к увеличению IBU, что требует тщательной корректировки рецептуры хмелезадания [38].

Объемная доля спирта (Alcohol by Volume, ABV) в крафтовом пиве зависит от количества сбраживаемых сахаров. Внесение растительного сырья может изменять этот показатель двумя путями:1. Разбавление: Добавление соков или водных экстрактов после завершения брожения снижает общую концентрацию спирта. 2. Дополнительное сбраживание**:** Добавление фруктов, ягод или меда, богатых сахарами (фруктозой, глюкозой), на этапе брожения или созревания дает дрожжам новый субстрат для переработки, что ведет к росту ABV [30, 40]. Исследования показывают, что добавление хурмы значительно повышает содержание спирта в готовом продукте по сравнению с контролем [30]. В случае использования несахаросодержащих добавок (например, сухих трав или грибных экстрактов) значимых изменений содержания алкоголя обычно не наблюдается.

2. Содержание полифенолов и антиоксидантная активность

Одним из главных преимуществ обогащения крафтового пива растительными ингредиентами является существенное повышение его биологической ценности. Растительное сырье является богатым источником вторичных метаболитов, в первую очередь фенольных соединений (фенольных кислот, флавоноидов, антоцианов), которые обладают выраженными антиоксидантными свойствами.

Общее содержание фенолов (TPC)

Общее содержание фенольных соединений (Total Phenolic Content, TPC) обычно определяется фотометрическим методом с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. В классическом пиве основная часть полифенолов (до 70–80%) поступает из солода, а оставшаяся часть — из хмеля [41,42]. Многочисленные исследования подтверждают, что добавление растительных компонентов приводит к резкому скачку уровня TPC. Например, использование экстракта бергамота (Citrus bergamia) позволяет значительно увеличить концентрацию флавоноидов, таких как нарингин и неогесперидин [43,44]. Внесение ягод (вишни, малины, бузины) обогащает пиво антоцианами, которые не только влияют на цвет, но и являются мощными антиоксидантами [45,46,47]. Высокие показатели TPC зафиксированы при добавлении прополиса. Благодаря содержанию кофейной кислоты, хризина и галангина, прополис повышает общее содержание фенолов в несколько раз по сравнению с традиционным светлым лагером [38]. Также значительный вклад вносят экстракты оливковых листьев и плодов манго, что коррелирует с увеличением стабильности напитка к окислению [48,49]. Для комплексной оценки антиоксидантного потенциала крафтового пива применяются различные аналитические методы, основанные на разных механизмах действия: DPPH и ABTS: методы оценки способности нейтрализовать свободные радикалы; FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power): Метод оценки восстанавливающей способности (восстановление ионов железа Fe^{3+} до Fe^{2+}) ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)**:** Оценка способности поглощать кислородные радикалы. Исследования показывают прямую положительную корреляцию между общим содержанием фенолов и антиоксидантной способностью. Так, пиво с добавлением плодов Lycium barbarum продемонстрировало значительно более высокие значения по тестам DPPH и FRAP [36]. Использование лекарственного гриба Trametes versicolor не только увеличило содержание β-глюканов, но и существенно повысило радикальную активность напитка [37,50].

Несмотря на пользу для здоровья, высокое содержание полифенолов может создавать технологические проблемы. Одной из них является образование комплексов «белок-полифенол», что приводит к появлению коллоидной мутности пива [51].

Для крафтового пива, которое часто не фильтруется, это может быть менее критично, однако избыточная терпкость, вызываемая танинами, может негативно сказаться на органолептике.

Антиоксидантная активность — еще один важный аспект. Антиоксиданты из растительных добавок действуют как «ловушки» для активных форм кислорода, замедляя образование стареющих карбонильных соединений (например, транс-2-ноненаля), ответственных за появление запаха «картона» в несвежем пиве [48]. Таким образом, растительные ингредиенты не только делают пиво функциональным, но и помогают сохранить его свежесть в течение более длительного времени. В таблице 1. кратко представлены результаты исследований влияния растительных ингредиентов на изменения физико- химических свойств и антиоксидантной активности крафтового пива.

Таблица 1.

Влияние растительных ингредиентов на антиоксидантный потенциал и физико-химические показатели крафтового пива

Категория сырья	Ингредиенты / Стиль пива	Влияние на антиоксидантную активность (AOA)	Изменение физико-химических свойств	Ссылка
Травы и специи	Базилик, Уматола (*P. lucida*), Одуванчик	Рост AOA до 85% (DPPH). Максимальный эффект при внесении после брожения.	Снижение pH; возможное помутнение из-за высокого содержания эфирных масел.	[32,41].
Фрукты и ягоды	Ягоды (камчатская, саскатун), Гуава, Питайя	Рост по ABTS и FRAP. Зависит от степени зрелости и дозировки (до 20	Снижение pH; возможное помутнение из-за высокого содержания эфирных масел.	[27,36,47].
Цитрусовые	Сок бергамота, Цедра апельсина, *C. aurantium*	Рост AOA (DPPH/ORAC) пропорционально дозе.	Стабилизация микробиологического профиля; усиление горечи и ароматической интенсивности.	[44,55].
Экстракты и отходы	Кофейная жома, Листья оливы, Прополис	Кратный рост потенциала (до 70 раз по FRAP).	Повышение цветности; риск выпадения осадка (взаимодействие полифенолов с белками).	[11,17].
Функциональные добавки	Цветки софоры (Huaimi), Спирулина, Красный рис	Повышение стабильности к окислению. Спирулина снижает IC50 в 2.8 раза.	Влияние на пеностойкость; изменение спектра летучих компонентов и аминокислотного	[19,31].

Включение растительных ингредиентов в крафтовое пиво приводит к существенному изменению его антиоксидантного профиля и физико-химических характеристик. Рост антиоксидантной активности пива обусловлен притоком специфических групп полифенолов, которые действуют по механизмам переноса электрона или атома водорода. Антоцианы, содержащиеся в камчатской ягоде, питайе и винограде, обеспечивают резкий скачок активности в анализах ABTS и DPPH за счет обогащения напитка цианидин-3-глюкозидом [41,42,47]. Флавонолы, такие как рутин и кверцетин, поступающие из цветков софоры незрелой и одуванчика, не только повышают ORAC-потенциал, но и выступают хелаторами металлов, блокируя окислительные процессы при хранении [39,51]. Гидроксикоричные кислоты, включая хлорогеновую и розмариновую кислоты из кофейной жомы, базилика и лемонграсса, обладают высокой биодоступностью и обеспечивают кратный прирост показателей по методу FRAP [9,35,46]. Использование листьев оливы вносит в систему олеуропеин, повышающий окислительную стабильность липидной фракции [40]. С технологической точки зрения добавление этих компонентов часто вызывает снижение pH и изменение цветности по шкале EBC. Фруктовые добавки являются наиболее распространенными в крафтовом пивоварении. Использование таких плодов, как вишня, малина, персик, абрикос, а также более экзотических вариантов (манго, хурма, плоды кактуса), позволяет достичь сложного вкусового профиля [49, 50]. Фрукты вносят в сусло простые сахара, что способствует вторичному брожению и изменению текстуры напитка. Особое внимание заслуживают ягоды годжи (Lycium barbarum). Исследования показали, что их добавление в количестве 20 г/л существенно повышает концентрацию рутина и хлорогеновой кислоты, что не только улучшает антиоксидантный профиль, но и придает пиву характерный сладковато-терпкий вкус [36]. Использование хурмы (Diospyros kaki) позволяет обогатить продукт каротиноидами и танинами, что положительно сказывается на цвете и стабильности пены [30].

Травы и специи (кориандр, цедра апельсина, мята, базилик, имбирь) традиционно использовались в бельгийских элях, но современные крафтовые пивовары расширяют этот список. Добавление лекарственных трав, таких как эхинацея, розмарин

или мелисса, превращает пиво в функциональный продукт с потенциальными противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами [51]. Розмарин, например, содержит карнозол и розмариновую кислоту, которые являются одними из самых мощных природных антиоксидантов, предотвращающих автоокисление липидов и деградацию хмелевых масел [52]. Это позволяет продлить срок хранения непастеризованного крафтового пива без использования искусственных консервантов.

Важно учитывать, что избыток полифенолов, в частности кверцетина и антоцианов, может провоцировать образование необратимого коллоидного помутнения при взаимодействии с белками солода. Оптимальной стратегией признано внесение таких ингредиентов на стадии созревания пива, что минимизирует термическую деградацию активных молекул и позволяет сохранить функциональные преимущества продукта без ущерба для его прозрачности и органолептической стабильности.

Полифенолы пива в сочетании с компонентами растительных добавок могут оказывать синергетический эффект. Исследования in vitro показывают, что такие напитки обладают выраженной способностью ингибировать перекисное окисление липидов и защищать клетки от окислительного стресса [53]. Существуют данные, указывающие на то, что умеренное потребление функционального крафтового пива может способствовать улучшению липидного профиля крови и снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний благодаря высокому содержанию флавоноидов и антиоксидантов [54,55].

3. Технологические аспекты внесения растительных добавок

Процесс интеграции растительного сырья в традиционную технологическую схему пивоварения требует глубокого понимания химии процессов. Существует несколько ключевых этапов, на которых могут быть внесены добавки, и каждый из них оказывает уникальное влияние на конечный продукт. Добавление трав или специй в заторный чан позволяет извлечь водорастворимые компоненты, однако высокие температуры могут привести к разрушению термолабильных антиоксидантов и улетучиванию эфирных масел. Внесение на этапе кипячения (boil) способствует стерилизации сырья и более эффективной экстракции горьких веществ, но также связано с риском потери тонких ароматических соединений [45,47]. Внесение в вирпул (whirlpool) — популярный метод для сохранения аромата. При температурах 80–90°C экстракция происходит достаточно быстро, но термическая деградация менее выражена, чем при активном кипячении. Этот метод часто используется для цедры цитрусовых и нежных трав [44,55]. Добавление экстрактов, фруктов или прополиса во время основного брожения или при созревании (conditioning) считается наиболее щадящим методом. В этом случае сохраняется максимальное количество полифенолов и витаминов. Однако этот этап сопряжен с риском микробиологического заражения, поэтому растительное сырье должно быть предварительно обработано (например, заморожено, пастеризовано или обработано спиртовым раствором) [56].

Хотя основной фокус данного обзора направлен на химические свойства, нельзя игнорировать влияние добавок на вкус и аромат. Обогащенное пиво должно оставаться сбалансированным продуктом. Избыток растительных компонентов может привести к появлению нежелательных оттенков (например, чрезмерной травянистости или горечи, нехарактерной для пива). Сенсорный анализ, проводимый профессиональными дегустационными панелями, показывает, что потребители высоко оценивают пиво с фруктовыми и ягодными нотами, воспринимая его как более качественный и натуральный продукт [54,55,56]. Использование нетрадиционного сырья также способствует созданию «сторителлинга» вокруг бренда, что является критически важным для маркетинга малых пивоварен. Рынок функционального пива сталкивается с рядом вызовов. Во-первых, это высокая стоимость качественного растительного сырья, что повышает конечную цену продукта. Во-вторых, существуют законодательные ограничения в разных странах относительно маркировки пива как «полезного для здоровья». Пивовары должны быть осторожны в своих заявлениях (health claims), чтобы соответствовать требованиям регуляторов (например, EFSA в Европе). Тем не менее, рост сегмента «No-and-Low» (безалкогольное и слабоалкогольное пиво) открывает новые возможности. Обогащение безалкогольного крафтового пива растительными экстрактами позволяет позиционировать его как полноценный оздоровительный напиток для активных людей

Выводы

Проведенный анализ подтверждает, что использование нетрадиционных растительных ингредиентов в крафтовом пивоварении является эффективным инструментом создания инновационных напитков с заданными свойствами.

Основные выводы обзора:

1. Физико-химическая модификация: Добавки существенно влияют на цвет, pH и содержание алкоголя, что требует точного контроля на каждом этапе производства для достижения воспроизводимости результатов.

2. Функциональное обогащение: Растительное сырье (фрукты, травы, продукты пчеловодства, грибы) значительно повышает содержание полифенолов и антиоксидантную активность, превращая пиво в продукт с потенциальными полезными свойствами.

3. Потребительская привлекательность: Использование натуральных экстрактов соответствует тренду «чистой этикетки» (clean label) и удовлетворяет спрос на аутентичные и здоровые продукты.

Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на изучении биодоступности полифенолов после ферментации и их стабильности при различных температурных режимах хранения. Также перспективным направлением является изучение синергетических эффектов между хмеле-

выми компонентами и новыми растительными добавками для оптимизации вкусоароматического баланс.

Список литературы

1. Бурак, Л. Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами / Л. Ч. Бурак // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 2. – С. 79-88. https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-79-88

2. Villacreces B. The craft beer of the Italian territory: a consumer research / B. Aquilani, T. Laureti, S. Poponi et al. // British Food Journal. – 2015. – Vol. 117. – № 9. – P. 2311–2335. – https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.005

3. Бурак, Л. Ч. Состояние и перспективы развития крафтового пива. обзор / Л. Ч. Бурак // The Scientific Heritage. – 2022. – № 87-1(87). – С. 52-66. https://doi.org/10.12731/HFUEON

4. Baiano A. Craft Beer: An Overview / A. Baiano // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2021. – Vol. 20. – P. 1829–1856. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693

5. Rossi F. Effects of the Intake of Craft or Industrial Beer on Serum Homocysteine / F. Rossi, G. Spigno, G. Luzzani et al. // Int. J. Food Sci. Nutr. – 2021. – Vol. 72. – P. 93–98. – https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1760219

6. Breda C. Characterization of Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Portuguese Craft Beers / C. Breda, A.I. Barros, I. Gouvinhas // Int. J. Gastron. Food Sci. – 2022. – Vol. 27. – Art. 100473. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100473

7. Chacón-Figueroa I.H. Use of Coffee Bean Bagasse Extracts in the Brewing of Craft Beers: Optimization and Antioxidant Capacity / I.H. Chacón-Figueroa, L.G. Medrano-Ruiz, M.J. Moreno-Vásquez et al. // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – Art. 7755. https://doi.org/10.3390/molecules27227755

8. Cirlincione F. Technological and Organoleptic Parameters of Craft Beer Fortified with Powder of the Culinary–Medicinal Mushroom Pleurotus eryngii / F. Cirlincione, A. Pirrone, I.M. Gugino et al. // J. Fungi. – 2023. – Vol. 9. – Art. 1000. https://doi.org/10.3390/jof9101000

9. Đorđević S. Extracts of Medicinal Plants as Functional Beer Additives / S. Đorđević, D. Popović, S. Despotović et al. // Chem. Ind. Chem. Eng. Q. – 2016. – Vol. 22. – P. 301–308. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03637-2

10. Horn, P.A. Antioxidant Profile at the Different Stages of Craft Beers Production: The Role of Phenolic Compounds / P.A. Horn, N.B. Pedron, L.H. Junges et al. // Eur. Food Res. Technol. – 2021. – Vol. 247. – P. 439–452. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03637-2

11. Loh, L.X. Targeted and Nontargeted Metabolomics of Amino Acids and Bioactive Metabolites in Probiotic-Fermented Unhopped Beers / L.X. Loh, D.H.J. Ng, M. Toh et al. // J. Agric. Food Chem. – 2021. – Vol. 69. – P. 14024–14036. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03992

12. Nardini, M. Characterization of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fruit Beers / M. Nardini, I. Garaguso // Food Chem. – 2020. – Vol. 305. – 125437. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437

13. Бурак, Л. Ч. Состояние и перспективы использования морских водорослей в качестве источника белка и биологически активных веществ / Л. Ч. Бурак // Sciences of Europe. – 2024. – № 143(143). – С. 4-13. – DOI 10.5281/zenodo.12540670.

14. Nunes Filho, R.C. Effects of Adding Spices with Antioxidants Compounds in Red Ale Style Craft Beer / R.C. Nunes Filho, D. Galvan, L. Effting et al. // Food Chem. – 2021. – Vol. 365. – 130478 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130478

15. **Taiti, C.** Addition of Spirulina to Craft Beer: Evaluation of the Effects on Volatile Flavor Profile and Cytoprotective Properties / C. Taiti, G. Stefano, E. Percaccio et al. // Antioxidants. – 2023. – Vol. 12. – 1021. https://doi.org/10.3390/antiox12051021

16. Ulloa, P.A. Effect of the Addition of Propolis Extract on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Craft Beer / P.A. Ulloa, J. Vidal, M.I. Ávila et al. // J. Chem. – 2017. – Vol. 2017. – 6716053. https://doi.org/10.1155/2017/6716053

17. Mazengia, G. Effect of Moringa stenopetala Leaf Extracts on the Physicochemical Characteristics and Sensory Properties of Lagered Beer / G. Mazengia, E. Dessalegn, T. Dessalegn // Food Sci. Nutr. – 2022. – Vol. 10. – P. 507–514. https://doi.org/10.1002/fsn3.2672

18. Carocho, M. A Review on Antioxidants, Prooxidants and Related Controversy: Natural and Synthetic Compounds, Screening and Analysis Methodologies and Future Perspectives / M. Carocho, I.C.F.R. Ferreira // Food Chem. Toxicol. – 2013. – Vol. 51. – P. 15–25. DOI: 10.1016/j.fct.2012.09.021

19. Aquilani, B. Beer Choice and Consumption Determinants When Craft Beers Are Tasted: An Exploratory Study of Consumer Preferences / B. Aquilani, T. Laureti, S. Poponi, L. Secondi // Food Qual. Prefer. – 2015. – Vol. 41. – P. 214–224. DOI: 10.1016/j.foodqual.2014.12.005

20. Carvalho, N.B. Characterization of the Consumer Market and Motivations for the Consumption of Craft Beer / N.B. Carvalho, L.A. Minim, M. Nascimento et al. // Br. Food J. – 2018. – Vol. 120. – P. 378–391. DOI: 10.1108/BFJ-04-2017-0205

21. Gómez-Corona, C. Craft vs. Industrial: Habits, Attitudes and Motivations towards Beer Consumption in Mexico / C. Gómez-Corona, H.B. Escalona-Buendía, M. Garcia et al. // Appetite. – 2016. – Vol. 96. – P. 358–367. DOI: 10.1016/j.appet.2015.10.002

22. Pokrivčák, J. Development of Beer Industry and Craft Beer Expansion / J. Pokrivčák, S.C. Supeková, D. Lančarič et al. // J. Food Nutr. Res. – 2019. – Vol. 58. – P. 63–74.

23. Rosales, A. Craft Beer vs Industrial Beer: Chemical and Sensory Differences / A. Rosales, M.I. Talaverano, J. Lozano et al. // Br. Food J. – 2021. – Vol. 123. – P. 4332–4346. DOI: 10.1108/BFJ-01-2021-0074

24. Бурак, Л. Ч. Достижение устойчивого развития за счет использования новых технологий переработки пищевых продуктов / Л. Ч. Бурак, Т. В. Ермошина, Н. В. Саманкова // Фундаментальные

исследования. – 2024. – № 10. – С. 171-179. – DOI 10.17513/fr.43705.

25. Vanderhaegen, B. Aging Characteristics of Different Beer Types / B. Vanderhaegen, F. Delvaux, L. Daenen et al. // Food Chem. – 2007. – Vol. 103. – P. 404–412. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.07.063

26. Matrella, M.L. Bergamot and Olive Extracts as Beer Ingredients: Impact on Cell Viability, Reactive Oxygen Species and RNA Expression of Antioxidant Enzymes / M.L. Matrella, B. Amenta, F. Canino et al. // Foods. – 2025. – Vol. 14. – 2012. DOI: 10.3390/foods14122012

27. Gasinski, A. Volatile Compounds Content, Physicochemical Parameters, and Antioxidant Activity of Beers with Addition of Mango Fruit (Mangifera indica) / A. Gasinski, J. Kawa-Rygielska, A. Szumny et al. // Molecules. – 2020. – Vol. 25. – 3033. DOI: 10.3390/molecules25133033

28. Cho, J.-H. Persimmon Fruit Enhanced Quality Characteristics and Antioxidant Potential of Beer / J.-H. Cho, I.-D. Kim, S.K. Dhungana et al. // Food Sci. Biotechnol. – 2018. – Vol. 27. – P. 1067–1073. DOI: 10.1007/s10068-018-0340-2

29. Deng, Y. Composition and Biochemical Properties of Ale Beer Enriched with Lignans from Schisandra chinensis Baillon (Omija) Fruits / Y. Deng, J. Lim, T.T.H. Nguyen et al. // Food Sci. Biotechnol. – 2020. – Vol. 29. – P. 609–617. DOI: 10.1007/s10068-019-00714-5

30. Borşa, A. Effects of Botanical Ingredients Addition on the Bioactive Compounds and Quality of Non-Alcoholic and Craft Beer / A. Borşa, M.V. Muntean, L.C. Salanţă et al. // Plants. – 2022. – Vol. 11. – 1958. DOI: 10.3390/plants11151958

31. Caro, D.D. A Low-Cost Device for Beer Color Measurement / D.D. Caro, C. Liguori, A. Pietrosanto, P. Sommella // In Proceedings of the 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor). – Portici, Italy. – 2019. – P. 222–226. DOI: 10.1109/MetroAgriFor.2019.8909213

32. Santana, J.C.O. The Role of Red Rice in Craft Beer: A Sensory and Nutritional Evaluation / J.C.O. Santana, R. Pereira De Gusmão, M. Tejo Cavalcanti et al. // Cereal Chem. – 2025. – Vol. 102. – P. 211–225. DOI: 10.1002/cche.10854

33. Piva, R.C. Manufacturing and Characterization of Craft Beers with Leaves from Ocimum selloi Benth / R.C. Piva, M.H. Verdan, M.D.S. Mascarenhas Santos et al. // J. Food Sci. Technol. – 2021. – Vol. 58. – P. 4403–4410. DOI: 10.1007/s13197-020-04925-1

34. Gorzelany, J. The Effect of the Addition of Ozonated and Non-Ozonated Fruits of the Saskatoon Berry (Amelanchier alnifolia Nutt.) on the Quality and pro-Healthy Profile of Craft Wheat Beers / J. Gorzelany, M. Patyna, S. Pluta et al. // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – 4544. DOI: 10.3390/molecules27144544

35. Machado, J.C. Impact of Elderberry Enrichment on Beers: Effects of Addition Stage, Pasteurization, Filtration, Production Scale, and Ageing on Anthocyanin Content, Bioactivity, and Sensory Properties / J.C. Machado, C.D. Carvalho, M.A. Faria et al. // J. Food Compos. Anal. – 2025. – Vol. 145. – 107845. DOI: 10.1016/j.jfca.2025.107845

36. Zhang, Y. Applying Huaimi (Flos Sophorae Immaturus) as a Brewing Adjunct and Its Impact on Sensory Properties of Beer / Y. Zhang, X. Wang, H. Liu et al. // Int. J. Gastron. Food Sci. – 2024. – Vol. 36. – 100933. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.100933

37. Cappelin, E. Low-Alcohol Light Beer Enriched with Olive Leaves Extract: Cold Mashing Technique Associated with Interrupted Fermentation in the Brewing Process / E. Cappelin, D. Meneguzzi, D.H. Hendges et al. // Electron. J. Biotechnol. – 2024. – Vol. 68. – P. 81–89. DOI: 10.1016/j.ejbt.2024.01.002

38. da Costa, L.S.M. Elaboration and Characterization of Pitaya (Hylocereus polyrhizus) Witbier Craft Beer / L.S.M. da Costa, C.R. Bressan, C.L. Sousa et al. // Int. J. Food Prop. – 2024. – Vol. 27. – P. 1302–1314. DOI: 10.1080/10942912.2024.2398004

39. Belcar, J. Impact of the Addition of Fruits of Kamchatka Berries (L. caerulea var. kamtschatica) and Haskap (L. caerulea var. emphyllocalyx) on the Physicochemical Properties, Polyphenolic Content, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation Craft Wheat Beers / J. Belcar, I. Kapusta, T.R. Sekutowski et al. // Molecules. – 2023. – Vol. 28. – 4011. DOI: 10.3390/molecules28104011

40. Belcar, J. Effect of the Addition of Lemongrass (Cymbopogon citratus) on the Quality and Microbiological Stability of Craft Wheat Beers / J. Belcar, J. Gorzelany // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – 9040. DOI: 10.3390/molecules27249040

41. Luz, B.R.T. Innovative Craft Beers Added with Purple Grape Pomace: Exploring Technological, Sensory, and Bioactive Characteristics / B.R.T. Luz, C.N. Da Silva, G.D.F.D.L. Hercos et al. // Beverages. – 2024. – Vol. 10. – 80. DOI: 10.3390/beverages10030080

42. Muscolo, A. Bergamot and Olive Extracts as Beer Ingredients: Their Influence on Nutraceutical and Sensory Properties / A. Muscolo, F. Marra, F. Salafia et al. // Eur. Food Res. Technol. – 2022. – Vol. 248. – P. 2067–2077. DOI: 10.1007/s00217-022-04031-w

43. Verdan, M.H. Production and Characterization of Craft Beers with Addition of Campomanesia adamantium O. Berg Fruits and Leave / M.H. Verdan, M.D.S. Mascarenhas Santos, T.L.A.D. Castro et al. // Orbital Electron. J. Chem. – 2022. – Vol. 14. – P. 53–57. DOI: 10.17807/orbital.v14i1.1690

44. Silva, S.P.d. Jambu Flower Extract (Acmella oleracea) Increases the Antioxidant Potential of Beer with a Reduced Alcohol Content / S.P.d. Silva, J.A.L. Fernandes, A.S. Santos et al. // Plants. – 2023. – Vol. 12. – 1581. DOI: 10.3390/plants12081581

45. Dziedziński, M. Supplementation of Beer with Pinus sylvestris L. Shoots Extracts and Its Effect on Fermentation, Phenolic Content, Antioxidant Activity and Sensory Profiles / M. Dziedziński, B. Stachowiak, J. Kobus-Cisowska et al. // Electron. J. Biotechnol. – 2023. – Vol. 63. – P. 10–17. DOI: 10.1016/j.ejbt.2023.01.001

46. Rinaldi, B.J.D. Brewing of Craft Beer Enriched with Freeze-Dried Cape Gooseberry: A Promising Source of Antioxidants / B.J.D. Rinaldi, P.F. Montanher, G. Johann // Braz. J. Food Technol. – 2022. – Vol. 25. – e2022019. DOI: 10.1590/1981-6723.01922

47. Бурак, Л. Ч. Разработка специального сорта пива повышенной антиоксидантной активности с ягодами бузины (Sambucus Nigra L.) / Л. Ч. Бурак, А. П. Завалей // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 1. – С. 168-177. – DOI 10.21603/2074-9414-2022-1-168-177.

48. Bustos, L. Brewing of a Porter Craft Beer Enriched with the Plant Parastrephia lucida: A Promising Source of Antioxidant Compounds / L. Bustos, E. Soto, F. Parra et al. // J. Am. Soc. Brew. Chem. – 2019. – Vol. 77. – P. 261–266. DOI: 10.1080/03610470.2019.1644478

49. Бурак, Л. Ч. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения / Л. Ч. Бурак, А. Н. Сапач // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 80-94. – DOI 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94.

50. Lazzari, A. Top-Fermented Beer Enriched with Ceylon Gooseberry Residue — The Effect on Bioactive Compound Content and Sensorial Profile / A. Lazzari, M.S. Gibin, B.R. Saraiva et al. // Int. J. Gastron. Food Sci. – 2024. – Vol. 37. – 100991. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.100991

51. Humia, B.V. Physicochemical and Sensory Profile of Beauregard Sweet Potato Beer / B.V. Humia, K.S. Santos, J.K. Schneider et al. // Food Chem. – 2020. – Vol. 312. – 126087. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.126087

52. Yao, J. Effects of Dandelion Addition on Antioxidant Property, Sensory Characteristics and Inhibitory Activity against Xanthine Oxidase of Beer / J. Yao, Z. Ma, Y. Wang et al. // Curr. Res. Food Sci. – 2022. – Vol. 5. – P. 927–939. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.05.008

53. Zhao, H. Endogenous Antioxidants and Antioxidant Activities of Beers / H. Zhao // In Processing and Impact on Antioxidants in Beverages. – Amsterdam: Elsevier. – 2014. – P. 15–24. DOI: 10.1016/B978-0-12-404738-9.00002-7

54. Poveda, J.M. Biogenic Amines and Free Amino Acids in Craft Beers from the Spanish Market: A Statistical Approach / J.M. Poveda // Food Control. – 2019. – Vol. 96. – P. 227–233. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.09.012

55. da Silva, A.A. Effects of Seriguela (Spondias purpurea) and Orange Peel (Citrus sinensis) on the Physicochemical and Sensory Properties, Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Wheat Beer / A.A. da Silva, P.H.M. de Sousa, L. de Siqueira Oliveira et al. // ACS Food Sci. Technol. – 2024. – Vol. 4. – P. 2867–2877. DOI: 10.1021/acsfoodscitech.4c00453

56. Бурак, Л. Ч. Качество и безопасность крафтового пива / Л. Ч. Бурак // Научное обозрение. Биологические науки. – 2023. – № 1. – С. 46-55. – DOI 10.17513/srbs.1312.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІКОМПОНЕНТНИХ БІОРЕГУЛЯТОРІВ ТА НОВІТНІХ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ РОСЛИН НА ОСНОВІ АЗОТОВМІСНИХ ГЕТЕРОЦИКЛІЧНИХ СПОЛУК ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ ТА ПОЛІПШЕННЯ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО БІОТИЧНИХ ТА АБІОТИЧНИХ СТРЕСОВИХ ФАКТОРІВ

Циганкова В.А.
доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу хімії біоактивних азотовмісних гетероциклічних основ Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П.Кухаря НАН України
Андрєєв А.М.
аспірант відділу хімії біоактивних азотовмісних гетероциклічних основ Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П.Кухаря НАН України

APPLICATION OF POLYCOMPONENT BIOREGULATORS AND NOVEL PLANT GROWTH REGULATORS BASED ON NITROGEN-CONTAINING HETEROCYCLIC COMPOUNDS TO INCREASE YIELD AND IMPROVE PLANT ADAPTATION TO BIOTIC AND ABIOTIC STRESS FACTORS

Tsygankova V.
Doctor of Biological Sciences, Senior Staff Scientist, Principal Researcher of the Department for Chemistry of Bioactive Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine;
Andreev A.
Post Graduate Student of the Department for Chemistry of Bioactive Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine.
DOI: 10.5281/zenodo.20456083

Анотація

В даній оглядовій статті висвітлено літературні дані щодо фундаментальних досліджень, проведених протягом останніх десятиліть, щодо впливу екологічно безпечних полікомпонентних біорегуляторів на основі біологічно активних речовин та новітніх регуляторів росту рослин на основі низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук, на ріст, розвиток та продуктивність рослин, а також щодо їх важливої ролі у захисті рослин від патогенів та шкідників, а також в адаптації рослин до абіотичних стресів. Літературні дані, представлені в оглядовій статті, вказують на перспективи практичного застосування екологічно безпечних полікомпонентних біорегуляторів та новітніх регуляторів росту рослин на основі низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук для успішного розвитку сучасної сільськогосподарської галузі.

Abstract

This review article highlights the literature data on fundamental research conducted over the past decades on the impact of environmentally friendly polycomponent bioregulators based on biologically active substances and new plant growth regulators based on low-molecular nitrogen-containing heterocyclic compounds on plant growth, development and productivity, and on their important role in protecting plants from pathogens and pests, as well as in plant adaptation to abiotic stresses. The literature data presented in the review article indicate the prospects for the practical application of environmentally friendly polycomponent bioregulators and new plant growth regulators based on low-molecular-weight nitrogen-containing heterocyclic compounds for the successful development of the modern agricultural industry.

Ключові слова: екологічно безпечні полікомпонентні біорегулятори, низькомолекулярні азотовмісні гетероциклічні сполуки, ріст та продуктивність рослин, захист рослин від патогенів та шкідників, адаптація рослин до абіотичних стресів.

Keywords: environmentally friendly polycomponent bioregulators, low-molecular-weight nitrogen-containing heterocyclic compounds, plant growth and productivity, plant protection from pathogens and pests, plant adaptation to abiotic stresses.

Біорегулятори як ефективні засоби для поліпшення росту, підвищення продуктивності рослин, та посилення захисту рослин від біотичних та абіотичних стресів. На сьогодні вельми актуальним завданням для сучасної сільськогосподарської галузі є створення нових ефективних та безпечних для довкілля біорегуляторів росту рослин, створених на основі біологічно активних речовин (БАР) (органічних та неорганічних сполук, мікроелементів, тощо), які у низьких концентраціях здатні керувати фізіологічними та біохімічними процесами в організмах рослин, стимулюють їх ріст, розвиток, метаболізм, покращують поглинання поживних речовин з грунту та ефективність засвоєння поживних речовин рослинами, підвищують продуктивність та стійкість рослин до стресових факторів середовища, викликаних глобальними змінами клімату, посухою, тепловим стресом, засоленням, забрудненням та виснаження грунтів, скороченням тривалості вегетаційного періоду, а

також поширенням патогенів та шкідників, що негативно впливають на ріст та розвиток рослин і знижують їх врожайність [1-7].

Наразі в сільськогосподарській галузі різних країн світу та України знайшли практичне застосування біорегулятори (біостимулятори) з поліфункціональною дією, складовими яких є біоактивні сполуки, такі як фітогормони (ауксини, цитокініни, гібереліни, стриголактони, брасиностероїди), біодобрива, макро- та мікроелементи, вітаміни, гумінові та фульвові кислоти, гідролізовані тваринні та рослинні білки, амінокислоти, хітин, хітозан, полі- та олігосахариди, макроводорості та екстракти морських водоростей, корисні корисні мікроби, такі як штами асоційованих з рослинами бактеріальних ендофітів та азотфіксуючих бактерій з родів *Rhizobium, Azotobacter, Azospirillum*, штами арбускулярних мікоризних та немікоризних грибів, метаболіти грунтових стрептоміцетів, які сприяють інтенсифікації росту рослин, стимулюють вуглецевий та азотний обмін, підвищують ефективність засвоєння поживних речовин рослинами, активують фотосинтез та поліпшують водний баланс, покращують хімічні та фізичні характеристики ґрунту, збільшують корисні епіфітні та ризосферні мікробні популяції, модулюють кореневу систему, підвищують врожайність, поліпшують якість продукції, захищають рослини від патогенів та шкідників, а також підвищують стійкість рослин до абіотичних стресових факторів (температурний стрес, окислювальний стрес, водний дефіцит, засоленість грунтів та забрудненість важкими металами), посилюють активність ферментів антиоксидантного захисту (пероксидази, поліфенолоксидази, супероксиддисмутази та аскорбатпероксидази) та підвищують рівень неферментативних антиоксидантних сполук (фенолів, флавоноїдів, β-каротину, лікопену, антоціану та глутатіону), знижують токсичний вплив на рослини гербіцидів та пестицидів [4-27].

На сьогодні в аграрній галузі поширюється практичне використання екологічно безпечних мікробних біорегуляторів (мікробних препаратів), що сприяють поліпшенню росту рослин, та виступають неспецифічними еліситорами, що індукують у клітинах рослин системну набуту стійкість (SAR) до патогенів та шкідників [28]. До низки відомих мікробних біорегуляторів належать, наприклад, біофунгіциди, створені на основі продуктів життєдіяльності (сідерофори, ферменти, вітаміни, гіберелінподібні регулятори росту рослин, фунгітоксини) бактерій роду *Pseudomonas,* зокрема бактерії *Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas aureofaciens*: Біозлак, Псевдобактерин-2, Бізар, Біонорма, Планориз ВЛ, Планриз, Агат-25к, які підвищують резистентність зернових, овочевих та плодових культур проти збудників грибних і бактеріальних хвороб; біофунгіциди на основі бактерій роду *Bacillus*, зокрема бактерії *Bacillus subtilis*: ФітоХелп, МікоХелп, Спектрал, Фітодоктор (Спорофіт), Фітоцид, Фітоспорин, Флорабацилін, Серенада АСО, Бактофіт, Інтеграл ПРО, які підвищують резистентність зернових, зернобобових та овочевих культур проти збудників грибних і бактеріальних хвороб та проявляють антистресову дію до несприятливих погодних умов і негативного впливу пестицидів; біонематоцид Кларіва 156, який створено на основі бактерії *Pasteuria nishizawae*; інсектицидні бактеріальні препарати на основі бактерії *Bacillus thuringiensis*, які призначені для боротьби зі шкідливими комахами-переносниками хвороб, і водночас є нешкідливими для інших корисних комах (бджіл, запилювачів, хижаків), а також є абсолютно безпечними для тварин, людини та навколишнього середовища, до них належать, зокрема, бактеріальні препарати: Ентобактерин, Дендробацилін, Біп, Інсектин, Гомелін, Лепідоцид, Біолеп (Лепідоцид БТУ), що ефективні проти лускокрилих комах на овочевих, плодово-ягідних та інших культурах; препарати Децимід, Новодор, Колорадо, що активні проти личинок твердокрилих, у тому числі колорадського жука; бактеріальні препарати Бітоксибацилін, Колорадоцид, Бікол, Актоверм формула, які ефективні проти листогризучих гусениць, личинок колорадського жука, гусениць бавовникової совки, карадрини, люцернового довгоносика, капустяної мухи, павутинного кліща та інших шкідників; бактеріальний препарат Турингін на основі *Bacillus thuringiensis subsp. thuringiensis,* штамів 5072 та 4067, призначений для застосування проти павутинного кліща на овочевих і декоративних культурах (турингін-1) і проти колорадського жука на картоплі (турингін-2); бактеріальний препарат Сезар на основі бактерії *Pseudomonas auerofaciens*, штаму В-306, що ефективний проти листогризучих і сисних шкідників, у тому числі і проти кліщів; бактеріальний препарат Фабіліс на основі бактерії *Bacillus pumilus,* штам BU F-33, який ефективний проти комплексу шкідників на зернових культурах і озимому ріпаку; цілий ряд грибних інсектицидних препаратів для захисту рослин від шкідників, таких як препарат Боверин на основі ентомопатогенного грибу *Beauveria bassiana*, призначений проти колорадського жука, тепличної білокрилки, тютюнового трипса; препарат Метаризин (Ентоцид) на основі гриба *Metarhizium anisopliae*, призначений проти шкідників, які живуть у ґрунті (личинок хрущів, вовчка, дротяників, совок, колорадського жука, тощо); препарати Вертицилін та Мікотал на основі гриба *Verticillium (Cephalosporium) lecanii (Zimm) Viegas*, призначені для регулювання чисельності білокрилки, попелиць і трипсів у теплицях, та інші препарати; грибні фунгіцидні препарати на основі грибів роду *Trichoderma*, які синтезують стимулятори росту, антибіотичні речовини і літичні ферменти, сприяють активному розкладанню органічних речовин у процесах амоніфікації та нітрифікації, збагачують ґрунт біологічно активними речовинами, а також підвищують стійкість рослин до захворювань, до цих препаратів належать: Триходермін-БЛ, Трихофіт, ТрихоПлант, Агромар, Різодерма, Сім Дерма, а також багато інших препаратів [28].

Протягом останніх десятиліть українськими вченими розроблено велику кількість нових екологічно безпечних біорегуляторів на основі мікроорганізмів (мікробних біостимуляторів), які поліпшують ріст та розвиток рослин, і виявляють біозахисні властивості проти патогенів та шкідників рослин.

Зокрема, науковцями Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України розроблені екологічно безпечні мікробні біостимулятори (мікробні препарати), які практично використовуються в аграрній галузі для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та захисту рослин від абіотичних та біотичних стресів. До них належать полікомпонентні мікробні біорегулятори: Аверком, Аверком нова-1, Аверком нова-2, Віолар та Фітовіт, що містять метаболіти (протипаразитарні антибіотики, фітогормони: ауксини, цитокініни, гібереліни, брасиностероїди, абсцизову кислоту; амінокислоти, ненасичені жирні кислоти, вітаміни, ліпіди, та стероли) штамів ґрунтових стрептоміцетів (*Streptomyces avermitilis* IMV Ac-5015, *Streptomyces netropsis* IMV Ac-5025 та *Streptomyces violaceus* IMV Ac-5027), які виявляють потужні фітостимулюючі, протипаразитарні та протипатогенні властивості. Результати проведених науковцями ІМВ ім. Д.К. Заболотного НАН України спільно з науковцями Інституту харчової біотехнології та геноміки НАН України (ДУ «ІХБГ НАН України») та науковцями Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії (ІБОНХ) ім. В.П. Кухаря НАН України лабораторних, тепличних та польових досліджень на важливих зернових, овочевих, та технічних культурах (пшениці, картоплі, огірків, китайської капусти та ріпаку) з використанням сучасних мікробіологічних, фізіологічних, біотехнологічних, та молекулярно-генетичних методів, свідчать, що нові екологічно безпечні мікробні біорегулятори значно прискорюють ріст і розвиток рослин, підвищують їх продуктивність, а також посилюють стійкість рослин до паразитичних фітонематод (*Heterodera schachtii*, *Meloidogyne incognita*, *Ditylenchus destructor*) шляхом стимуляції процесу РНК-інтерференції (RNAi), який прийнято називати пост-транскрипційним сайленсингом генів (PTGS)), ключову роль в якому відіграють ендогенні малі **інтерферуючі siРНК (siRNA)** та **мікроРНК (miRNA),** що приймають участь у деградації (розщепленні), або блокуванні (сайленсингу) трансляції молекул-мішеней мРНК паразитичних фітонематод, що кодуються відповідними генами, які контролюють життєвий цикл фітонематод і сприяють їх проникненню у клітини рослин, або мРНК рослин, підвищення експресії генів які їх кодують, сприяє ураженню рослин фітонематодами [29-34]. У проведених польових дослідженнях [32] доведено економічну ефективність застосування полікомпонентних біорегуляторів Аверкому, Віолару та Фітовіту у сучасних агротехнологіях разом із засобами захисту рослин, гербіцидами, органічними та мінеральними добривами. Висока стимулююча активність мікробних біорегуляторів покращує основні показники росту та продуктивності сільськогосподарських культур, а також підвищує стійкість рослин до паразитичних фітонематод. Встановлено захисний, антистресовий та антимутагенний ефекти мікробних біорегуляторів, а також їх екологічну безпеку. В результаті значно покращується якість врожаю сільськогосподарських культур, а також зменшуються економічні витрати на вирощування рослин та отримання продуктів харчування. Проведені також фундаментальні дослідження, спрямовані на поліпшення технології мікроклонального розмноження сільськогосподарських культур пшениці, картоплі, та томатів з використанням мікробних біорегуляторів Аверкому, Віолару та Фітовіту як складових компонентів поживних середовищ, завдяки чому вдалось підвищити ефективність процесу органогенезу рослин в культурі ізольованих клітин та тканин *in vitro* та отримати нові лінії рослин пшениці, картоплі, та томатів з підвищеною РНКі-опосередкованою стійкістю рослин до біотичних стресових факторів (паразитичних фітонематод *Heterodera schachtii* та *Meloidogyne incognita*) [30-34].

До мікробних препаратів ІМВ ім. Д.К. Заболотного НАН України, належить комплексний бактеріальний препарат Азогран, розроблений на основі азотфіксувальних бактерій штаму *Azotobacter vinelandii* ІМВ В-7076 та фосфатмобілізувального штаму *Bacillus subtilis* ІМВ В-7023, який містить клітини цих бактерій і комплекс біологічно активних речовин, що синтезовані цими штамами (фітогормонів, органічних кислот, амінокислот, речовин фенольної природи), з додаванням наночастинок глинистого мінералу бентоніту. Препарат застосовується в рослинництві для покращення азотного та фосфорного живлення рослин, поліпшення росту, розвитку і підвищення продуктивності рослин [35-39]. Препарат Азогран випускається в рідкій, сипкій та гранульованій формі, він сумісний із агрохімікатами та мікробними біопрепаратами, а також безпечний для людей, бджіл, тварин і навколишнього середовища. Препарат значно покращує ріст і розвиток газонної трави, ряду декоративних, хвойних, квіткових рослин, підвищує врожайність овочевих, технічних та зернових культур на 18-37% та покращує якість сільськогосподарської продукції [38]. Показано, що застосування нанокомпозитної форми препарату Азогран в забезпечує високу адгезивну активність бактерій до поверхні зерна і значно підвищує життєздатність компонентів препарату на поверхні насіння, та виявляє виражений стимулювальний вплив на ріст і продуктивність ряду видів рослин [35-39]. Так, дослідження впливу гранульованого бактеріального препарату комплексної дії Азогран на ріст та урожайність різних сортів ярого ячменю у польових умовах показало, що передпосівна інокуляція насіння цим препаратом сприяла збільшенню висоти стебел рослин на 19,8-22,6%, а урожайність їх підвищувалась до 11,4-18,9% [40]. Стимулюючий вплив бактеріального препарату на урожайність рослин залежав від їх сортових особливостей. Найбільший приріст урожаю (на 13,7 і 18,9 %) спостерігали при застосуванні гранульованого бактеріального препарату на ячмені сортів Скіф та Оберіг. Встановлено, що в ризосфері бактеризованих рослин відбувались певні зміни чисельності окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів і ферментативної активності ризосферного ґрунту [40]. Встановлено також, що бактеризація нанокомпозитним препаратом Азогран насіння гречки за виро-

щування цієї культури в умовах органічного землеробства, підвищувало її врожайність на 22,7%, а за застосування цього препарату при вирощуванні гречки на фоні приорювання соломи врожайність цієї культури зростала у порівнянні до контролю на 30% [38].

Встановлено, що культуральні середовища *A. vinelandii* IMB B-7076 і *B. subtilis* IMB B-7023 спричиняють антиоксидантну дію на схожість насіння різних культур, яке зазнало оксидативного стресу. Встановлена залежність інгібуючого впливу перекису водню на схожість насіння різних сортів ячменю від концентрації розчину. Показано, що пост-обробка посівного матеріалу нанокомпозитним бактеріальним препаратом Азогран проявляла антиоксидантну дію на ріст рослин на різних фазах розвитку [41]. Зокрема встановлено, що при застосуванні 33% розчину перекису водню (H_2O_2) і препарату Азогран для обробки насіння, відбувалося підвищення по висоті рослин ячменю в фаз і виходу в трубку (стеблування), відповідно для сорту Віраж – на 16.7% і для сорту Бурхант – на 10.4%, в порівнянні з варіантом, де рослини розвивалися з насіння, обробленого лише 33% розчином H_2O_2. Подальші дослідження показали, що на обох сортах ячменю - Віраж і Бурхант, у фазі цвітіння "воскова стиглість" зберігались відмінності в висоті рослин ячменю при різних варіантах обробки посівного матеріалу. Показано, що зріст рослин для ячменю сорту Віраж в період цієї фази розвитку зростав у варіанті з пост-обробкою насіння нанокомпозитним комплексним бактеріальним препаратом на 14.7-18.6%, а для сорту Бурхант на 7.6-4.7%, відповідно до варіанту, де насіння піддавалися дії 33% перекису водню. При інокуляції насіння сортів ячменю (Бурхант, Віраж та Копленд) нанокомпозитним комплексним бактеріальним препаратом Азогран у рослинах підвищилися рівні найбільш ідентифікованих фенольних кислот та флавоноїдів у вільній та зв'язаній фракціях [42]. Натомість у рослинах, насіння яких піддавали стресу розчином H_2O_2 та інокулювали препаратом Азогран, переважали фенольні сполуки (Ph-OH) з високою здатністю нейтралізувати шкідливий вплив H_2O_2. Зокрема, у рослинах ячменю сорту Бурхант підвищилася концентрація вільних хлорогенової (на 33,1 %), сирінгової, бензойної, п-кумарової кислот, рутину, а також зв'язаних хлорогенової, бензойної та транс-ферулової кислот. У рослинах ячменю сорту Віраж підвищилися рівні вільних кавової, сирінгової кислот, кверцетину та зв'язаних 4-гідроксифенілоцтової (4-HPA), транс-ферулової, синапової, транс-коричної кислот, кверцетину та кемпферолу. У рослинах ячменю сорту Копленд підвищився лише вміст 4-HPA та транс-ферулової (на 79,9 %) кислот у вільній фракції та сирінгової кислоти у зв'язаній фракції. Отже, незважаючи на неоднакову реакцію різних сортів ячменю на дію бактеріального препарату Азогран, у їхніх рослинах збільшився синтез тих Ph-OH, які є ефективним буфером проти перекисного стресу [42].

За результатами проведених досліджень препарат Азогран підвищує резистентність сільськогосподарських культур до патогенних бактерій, грибів та вірусів, пригнічує поширення в її агроценозі личинок колорадського жука [43, 44]. Дослідження впливу комплексного бактеріального препарату Азогран на урожайність пшениці озимої сорту Царівна за вирощування культури в умовах Лісостепу України на сірому лісовому ґрунті, показало що використання препарату на фоні низки систем удобрення сприяло підвищенню урожайності пшениці на 0,57–0,62 т/га за ресурсоощадної технології захисту рослин та на 0.49–0,55 т/га за інтенсивної. Бактеризація сприяла зниженню ураження рослин кореневими гнилями, септоріозом листя та колосу [43]. В отриманому зерні вміст сирого протеїну і клейковини збільшувався на 0,6–0,9% і 1,2–1,3% за ресурсоощадної та на 0,6–0,9% і 1,1–1,3% за інтенсивної технологій вирощування відповідно [43]. Показано також, що застосування комплексного бактеріального препарату Азогран, штаму *B. subtilis* IMV B-7023 та його метаболіту 4-гідроксифенілоцтової кислоти (4-HPAA) у фітоценозі картоплі значно зменшує поширення імаго колорадського жука, а також кількість відкладених яєць на поверхні листя рослин [44]. Обробка личинок колорадського жука 1–4 стадій розвитку суспензією бактерій *B. subtilis* IMV B-7023, а також їх метаболітом 4-HPAA у концентрації 0,5–50,0 мкг/мл, призводить до загибелі понад 65 % личинок [44]. Отримані результати свідчать про перспективність застосування комплексного бактеріального препарату Азогран у картоплярстві.

Одним із основних напрямів діяльності ІБОНХ ім. В.П. Кухаря Національної академії наук України є синтез і вивчення біологічних властивостей нових біорегуляторів для застосування в сільському господарстві. Науковцями ІБОНХ ім. В.П. Кухаря НАН України розроблено нові ефективні екологічно безпечні полікомпонентні бірегулятори (біостимулятори) на основі синтетичної азагетероциклічної сполуки, похідної *N*-оксид-2,6-диметилпіридину (Івіну) та стимулятора росту рослин Емістиму С, що містить фізіологічно активні метаболіти (фітогормони: ауксини, цитокініни, гібереліни, брасиностероїди; амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти, полісахариди та мікроелементи), отримані шляхом біотехнологічного культивування мікроміцету *Cylindrocarpon obtusiuscuilum* 680, виділеного з кореневої системи женьшеню (*Panax ginseng* L.) з додаванням до деяких біостимуляторів аверсектинів — комплексних антипаразитарних макролідних антибіотиків з антинематодною та антигрибковою активністю, які продукуються грунтовими стрептоміцетами родини *Streptomyces avermitilis*. До цих полікомпонентних біостимуляторів належать: Агростимулін, Трептолем, Зеастимулін, Потейтін, Чаркор, Радостим, Радостим-супер, Біолан, Біолан-екстра, Біосил, Біоген (Емістим + аверсектини), Стімпо (Біолан + аверсектини) та Регоплант (Радостим + аверсектини) [32, 33, 45-51]. В ІБОНХ ім. В.П. Кухаря було зареєстровано Технічні Умови України для застосування зазначених біостимуляторів при вирощуванні основних сільськогосподарських культур в Україні, та які і до цього часу на підставі наданих ІБОНХ ім. В.П. Кухаря ліцензій

використовуються Державним підприємством «Міжвідомчий науково-технологічний центр «Агробіотех» НАН та МОН України і Товариством з обмеженою відповідальністю «Високий врожай» при виробництві цих біостимуляторів росту рослин, було налагоджено їх промисловий випуск, і вони знайшли практичне використання в аграрному секторі України, європейських країн, США, Канади, а також Китаю.

Проведені колективами українських вчених наукових установ НАН України, НААН України та ЗВО МОН України фундаментальні дослідження полікомпонентних біостимуляторів, створених в ІБОНХ ім. В.П. Кухаря, з використанням сучасних мікробіологічних, фізіологічних, та молекулярно-генетичних методів, свідчать, що ці біостимулятори є екологічно безпечними і нешкідливими для здоров'я людини і тварин сполуками, які поліпшують ріст та підвищують урожайність сільськогосподарських зернових, зернобобових, та овочевих культур (пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшнику, сої, квасолі, гороху, нуту, цукрового буряку, картоплі, та інш.) шляхом стимуляції синтезу мРНК та рРНК, що призводить до збільшення білкового синтезу, в результаті чого прискорюються процеси проростання насіння, формування органів рослин, завдяки чому підвищується продуктивність рослин, а також посилюють стійкість сільськогосподарських культур як до біотичних стресів (патогенних грибів *Fusarium sp., Botrytis cynerya, Alternaria sp., Nigrospora sp*., *Mucor spp., Rhizopus spp., Aspergillus spp., Penicillum spp., Tricholhecium roseum*), паразитичної фітонематоди (*Heterodera schachtii*), шкідливих комах (жужелиці, озимої совки, злакових мух, та інш.), бур'янів, так і до абіотичних стресів (посухи, спеки, засолення грунту), а також підвищують резистентність деревної культури (гіркокаштану звичайного) проти шкідливої комахи (каштанової мінуючої молі *Cameraria ohridella Deschka & Dimic*) шляхом стимуляції процесу РНК-інтерференції (RNAi), тобто шляхом активації експресії генів, що кодують синтез ендогенних малих **інтерферуючих siРНК (siRNA)** та **мікроРНК (miRNA),** які приймають участь в імунному захисні рослин проти біотичних та абіотичних стресів [32, 33, 45-51]. Екологічний аспект переваг застосування екологічно безпечних полікомпонентних біостимуляторів, створених на основі синтетичної азагетероциклічної сполуки - *N*-оксид-2,6-диметилпіридину (Івіну) та біостимулятора Емістиму С, для регуляції росту, продуктивності та біозахисту рослин полягає в одночасному скороченні норм витрат пестицидів, гербіцидів та хімічних засобів захисту рослин, а також зменшенні їх токсичного ефекту на організм людини та тварин [32, 33, 45-52], що сприятиме покращенню здоров'я людини, поліпшенню балансу природних екосистем та фітосанітарного стану ґрунтів, а також екологічного стану усієї сільськогосподарської системи.

Науковцями Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН проводяться фундаментальні і прикладні дослідження, присвячені селекції агрономічно корисних мікроорганізмів для створення на їх основі нових мікробних препаратів для покращення живлення та росту рослин, підвищення урожайності сільськогосподарських культур та посилення їх захисту від захворювань і шкідників, оптимізації біологічних процесів у ґрунтах агроценозів, відновлення забруднених ґрунтів [38, 53]. Встановлено, що використання новітніх мікробних препаратів на основі асоціативних азотфіксувальних бактерій роду *Azotobacter*, зокрема Ризобофіту та Ризогуміну, у технологіях вирощування бобових культур таких як горох, вика, соя, люпин, люцерна, козлятник, конюшина, еспарцет, лядвенець рогатий, забезпечує формування активних бобово-ризобіальних симбіозів, зростання інтенсивності засвоєння азоту з атмосфери, інтенсифікацію процесів азотного обміну в рослинному організмі і, як наслідок, збільшення урожайності та вмісту білка в продукції, та позитивній спрямованості у балансі азоту в сівозмінах. При застосуванні мікробних препаратів для злакових культур таких як стоколос безостий, костриця лучна, грястиця збірна, пажитниця пасовищна, у кореневих сферах рослин створюються умови, за яких інтродукований мікроорганізм тривалий час домінує в угрупованні і має трофічні переваги перед іншими при засвоєнні органічних речовин кореневих виділень. При цьому шкідливі для рослин види бактерій та мікроміцетів на цей період практично позбавляються трофічного субстрату. Розвиток інтродукованих мікроорганізмів супроводжується інтенсифікацією процесів трансформації біогенних елементів, продукуванням вторинних метаболітів, що суттєво впливає на формування кореневої системи, її поглинальну здатність і коефіцієнти засвоєння рослинами діючої речовини з добрив. За результатами польових та виробничих спостережень дія мікробних препаратів на продуктивність сільськогосподарських культур еквівалентна впливу 30-60 кг/га мінерального азоту, 20-40 кг/га фосфору. Крім мікробних препаратів, призначених для інокуляції бобових культур, створено також низку мікробних препаратів на основі асоціативних азотфіксувальних бактерій, призначених для покращення азотного живлення та збільшення урожайності небобових культур, зокрема, препарат Діазобактерин, призначений для інокуляції жита озимого, гречки, пажитниці однорічної; препарат Біогран, призначений для інокуляції картоплі, томатів, перцю, капусти, огірка та інших овочевих культур; препарати Азотобактерин та АБТ, призначені для інокуляції овочевих культур [38, 53]. Розроблено також мікробний препарат Мікрогумін комплексної дії на основі бактерій роду *Azospirillum* та екзогенних фізіологічно активних речовин біологічного походження, які включають фітогормони у збалансованому вигляді, вітаміни, амінокислоти, гумінові кислоти, фульвокислоти, та мікроелементи, призначений для інокуляції ячменю і вівса [38, 53]. Крім забезпечення формування ефективної рослинно-бактеріальної асоціації, цей мікробний препарат сприяє активізації хлоропластогенезу, фотосинтезу та інших фізіологічних процесів. Форма препарату – торф'яна, тобто напо-

внювачем є торф - ідеальне середовище для адаптації та розвитку мікроорганізмів. Для практичного використання рекомендовано поєднання інокуляції Мікрогуміном з протруюванням низькотоксичними фунгіцидами, наприклад Вега, Гізмо 60, Дерозал, Діксил, Кольчуга, Моріон, Оріус, Раксил, Раксил Ультра FS, Раназол, Тебу 60 МЕ, Тебузан, Фундазол, Хелмсіл. За необхідності використання високотоксичних фунгіцидів (наприклад, Вітавакс-200) рекомендовано розмежувати в часі протруєння і бактеризацію [38, 53]. У численних польових і виробничих дослідах з ячменем ярим за використання Мікрогуміну на різних агрофонах показано, що за передпосівної бактеризації насіння урожайність зерна ячменю ярого під впливом Мікрогуміну в середньому зростає на 13-23% залежно від агрофону, оптимізуються процеси біологічної трансформації азоту (зростає активність асоціативної азотфіксації і знижується біологічна денітрифікація внаслідок інтенсивнішого засвоєння рослинами мінерального азоту) і фосфору в кореневій зоні рослин, що позначається на ступені засвоєння цих елементів рослинами [38, 53].

Крім мікробних препаратів, на основі асоціативних азотфіксувальних бактерій, науковцями Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН розроблено також мікробні препарати на основі фосфатмобілізівних мікроорганізмів штаму *Paenibacillus polymyxa* КВ (раніше *Bacillus polymyxa*), до яких належать Поліміксобактерин, призначений для інокуляції цукрових буряків, пшениці озимої, кукурудзи, вівса, льону-довгунцю, соняшнику та Альбобактерин, призначений для інокуляції ріпаку і гірчиці [38, 53]. Інтродукція селекціонованих фосфатмобілізівних бактерій і мікроміцетів в агроценози позитивно впливає на доступність важкорозчинних фосфатів ґрунту. Фосфатмобілізівні мікроорганізми гідролізують ферментативним шляхом органічні форми фосфатів, кількість яких інколи є досить високою в чорноземних ґрунтах. Метаболіти цих мікроорганізмів також забезпечують активне розчинення мінералофосфатів ґрунтів та добрив, переводячи їх із запасного пулу в метаболічний. Селекціоновані й розмножені в мікробних препаратах мікроорганізми синтезують низку біологічно активних сполук, які забезпечують рістстимулювальний ефект для рослин. При цьому відмічається інтенсивний розвиток кореневої системи та зростання її адсорбційної здатності, що також позитивно позначається на засвоєнні фосфору сільськогосподарськими культурами. Застосування мікробних препаратів в практиці сільського господарства дозволяє запобігти шкідливому впливу фітопатогенних організмів на рослини при зменшенні норми застосування хімічних добрив і при цьому обмежити їх негативний вплив на довкілля [38, 53].

Науковцями Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН розроблено також мікробний препарат широкого спектру дії на основі ґрунтового сапрофітного мікроскопічного грибу *Chaetomium cochliodes* Palliser 3250, який колонізує кореневі системи рослин і здатний виявляти антагоністичну активність проти патогенів, які викликають хвороби рослин, зокрема, кореневі гнилі зернових і зернобобових культур, сіра та біла гнилі гороху, сої, соняшнику, та овочевих культур, фузаріоз і фузаріозне в'янення гороху, сої, люпину, льону, та овочевих культур, фузаріозна гниль і коренеїд цукрових буряків, звичайна і сріблясta парша картоплі, ризоктоніоз картоплі та овочевих культур [38, 53, 54]. Крім антагоністичної дії на збудників захворювань, *C. cochliodes* 3250 синтезує речовини, подібні фітогормонам ауксинам, гіберелінам і брасиностероїдам за регуляторною дією на ріст рослин, а також біогенний еліситор - арахідонову кислоту, яка індукує системну імунну відповідь шляхом підвищення експресії захисних генів рослин, синтезу стресових білків, а також фітоалексинів на дію патогенів і абіотичних стресових факторів. Встановлено також, що передпосівна обробка насіння препаратом Хетомік поліпшує засвоєння рослинами поживних речовин, а також запропоновано застосування цього препарату у технології вирощування культури гречки [38, 53, 54].

Науковцями Миколаївського національного аграрного університету (МНАУ) МОН України проведені фундаментальні дослідження з розробки, удосконалення та агроекологічного обґрунтування елементів біологізованих технологій вирощування зернових і технічних культур, зокрема пшениці озимої, ячменю ярого, кукурудзи, сорго цукрового, соняшника та льону олійного в умовах Півдня України [55-59]. Проведені дослідження встановили, що застосування комплексних органічних та мінеральних добрив, біостимуляторів росту рослин на основі гумусових речовин та комплекса корисних грунтових та ендофітних груп мікроорганізмів, засобів захисту від збудників хвороб та шкідників, забезпечує поліпшення росту та підвищення врожайності рослин, збільшує асиміляційну поверхню кореневої системи, активізує азотне та фосфорне живлення рослин, покращує структуру та підвищує родючість ґрунту при зменшенні використання екологічно токсичних хімічних засобів захисту рослин, та підвищує адаптивність рослин до стресових умов [55-59].

Зокрема, поліпшено технологію вирощування пшениці озимої сортів: Подолянка, Благодарка одеська, Місія одеська за використання для обробки насіння сумішки комплексу мікродобрив Квантум дозою 3,5 л/т (Квантум-ЗЕРНОВІ (2 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (0,5 л/т)) та біопрепарату Біокомплекс-БТУ-р дозою 2 л/т, що сприяло підвищенню врожайності зерна пшениці на 3,58 - 7,59 т/га залежно від погодних умов років вирощування. При цьому умовно чистий прибуток становив 6,15 тис. грн/га за енергетичного коефіцієнту 3,68 [57].

Поліпшено технологію вирощування ячменю ярого з використанням сидерату (гірчиці білої), на фоні внесення мінеральних добрив у дозі $N_{45}P_{45}K_{15}$, обробки насіння ячменю та позакореневих підживлень бактеріальним препаратом Органік-баланс (2,0 л/т), а також обробки посівів ячменю біопрепаратом Біокомплекс-БТУ-

р (0,8 л/га), що сприяло зростанню габітусу (101,5 см), листкового індексу (5,16) та урожайності рослин ячменю в 3,99 т/га, що на 1,38 т/га більше контрольного варіанту [57].

Оптимізовано технологію вирощування ранньостиглої кукурудзи гібриду DKC 2971 за обробки насіння бактеріальними препаратами на фоні різних доз мінеральних добрив: Росток-Кукурудза (3 л/га) за різних фаз обробки; Реаком-Плюс-Кукурудза (2 л/га) + Реаком Хелат Цинку (1 л/га) за різних фаз обробки; Квантум Кукурудза (2 л/га) + Квантум Хелат Цинку (1 л/га) + Квантум АміноМакс (0,5 л/га) у фазі 5–7 листків кукурудзи та Квантум Кукурудза (2 л/га) + Квантум ФітоФос (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га) у фазі 10 – 12 листків, завдяки чому вдалось збільшити показники висоти рослин: гібриду DKC 2971 від 2,86% до 11,43%; гібриду DKC 3472 від 2,69% до 13,45%; гібриду DKC 4964 від 2,55 до 12,34%; збільшити показники площі листкової поверхні по гібриду DKC 2971 на 14,2-62,9%; по гібриду DKC 3472 на 13,1-45,1% та по гібриду DKC 4964 на 7,0-34,1%, та підвищити врожайність гібриду DKC 2971 - до 5,25 т/га, гібриду DKC - до 3472 – 5,45 т/га та гібриду DKC 4964 - до 5,70 т/га. Показано, що застосування мікродобрив Квантум у фазу 5-6 та 10-12 листків кукурудзи (за дворазових підживлень) по гібриду DKC 4964 забезпечувало максимальну врожайність зерна – до 3,95 т/га та 107,2% рівень рентабельності. Ранньостигла кукурудза гібриду DKC 2971 формувала у середньому за 2011-2016 рр. урожайність на рівні 2,93 т/га, середньоранній гібрид DKC 3472 - 3,17 т/га, а середньостиглий гібрид DKC 4964 – 3,45 т/га. При цьому умовно чистий прибуток становив – 7,82; 8,86 та 10,25 тис. грн/га [57].

Поліпшено технологію вирощування гібридів сорго цукрового: Сило 700 Д, Медовий, Троїстий за умов використання комплексу елементів біологізованої технології вирощування (традиційна, консервуюча, мульчувальна), обробки насіння мікродобривами та бактеріальними препаратами: Біокомплексом-БТУ-р (5 л/т), Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (1 л/т), Біокомплекс-БТУ-р (5 л/т) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (1 л/т); та обробки мікродобривами та бактеріальними препаратами у фазі позакореневого підживлення посівів: Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фазі 9–10 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га)) у фазі 9–10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га)) у фазі 9– 10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фазі 5–6 та 9–10 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га)) + Квантум - ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум Аква Сил (2 л/га) у фазі 5–6 та 9–10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га)) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га) у фазі 5–6 та 9–10 листків; обробка посівів біопрепаратом та мікродобривом: Органік баланс (2 л/га); Органік баланс (2 л/га) + Квантум (5 л/га) [57]. Зокрема встановлено, що найбільш оптимальним варіантом у дослідженнях на сорго цукровому було вирощування гібриду Медовий за обробки насіння мікродобривом Квантум та бактеріальним препаратом Органік баланс (висота рослин - 263,1 см, площа листкової поверхні - 46,2 тис. $м^2$/га, умовний вихід цукрів – 6,517 т/га, урожайність зеленої маси – 69,8 т/га), за умов використання традиційної системи вирощування гібридів сорго цукрового з інокуляцією насіння сидерату та внесенням деструктора стерні ЕкоСтерн (урожайність зеленої маси - 74,3 т/га, умовний вихід цукрів - 8,75 т/га, умовно чистий прибуток – 39,2 тис. грн/га). В інших варіантах використання сидерату кращою була консервуюча система вирощування [57].

Оптимізовано технологію вирощування соняшника за умов обробки насіння мікродобривами та бактеріальними препаратами: Біокомплекс-БТУ-р (5 л/т); Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (1 л/т); Біокомплекс-БТУ-р (5 л/т) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (1 л/т); та у фазі позакореневого підживлення посівів: Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га) у фазі 5–6 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фазі 9–10 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га)) у фазі 9–10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га)) у фазі 9–10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) у фази 5–6 та 9–10 листків; Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га)) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум Ак-ваСил (2 л/га) у фази 5–6 та 9–10 листків; Біокомплекс-БТУ-р (1 л/га) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га)) + Квантум-ТЕХНІЧНІ (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум Ак-ваСил (2 л/га) у фази 5–6 та 9–10 листків; бактеріальний препарат Азотофіт (1,5 л/т) + вода (8,5 л/т); бактеріальний препарат Фітоцид (3 л/т) + вода (7 л/т) у фазі 5–6 та 9–10 листків; бактеріальний препарат Біокомплекс-БТУ-р (3 л/т) + вода (7 л/т) у фазі 5–6 та 9–10 листків; бактеріальний препарат Органік баланс (3 л/т) + вода (7 л/т) у фазі 5–6 та 9–10 листків [57]. Дослідження встановили, що елементи продуктивності соняшника залежали від обробки насіння та фаз позакорене-

вого підживлення мікродобривами і бактеріальними препаратами. Дещо більшу кількість зерен у кошику у всі роки досліджень формували рослини за обробки насіння сумішкою бактеріального препарату Біокомплекс-БТУ-р (5 л/т) та комплексом мікродобрив Квантум (Квантум-Технічні (3 л/т) + Квантум СРКЗ (1 л/т) + Квантум Т80 (1 л/т)). Так, у середньому за роки досліджень по фактору живлення, їх налічувалося 710 шт. (від 647 до 795 шт.), за маси 1000 насінин у варіанті – 72,9 г. Урожайність культури кращого варіанту за роки досліджень становила 2,30 т/га. Позакореневі підживлення підвищували врожайність гібриду соняшника до 0,61 т/га або на 34,3% порівняно з контролем, при застосуванні дворазового підживлення посівів сумішкою бактеріального препарату Біокомплекс-БТУ-р дозою 1 л/га сумісно з комплексом мікродобрив Квантум дозою 5 л/га (Квантум-Технічні (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (1 л/га)) у фазу 5-6 листків культури та обробка рослин сумішкою бактеріального препарату Біокомплекс-БТУ-р дозою 1 л/га сумісно з комплексом мікродобрив Квантум дозою 6 л/га (Квантум-Технічні (3 л/га) + Квантум БОР АКТИВ (1 л/га) + Квантум АкваСил (2 л/га)) у фазу 9-10 листків на фоні обробки насіння мікродобривами та бактеріальними препаратами. Використання вище наведених елементів агротехніки збільшувало умовний вихід олії - на 0,458 т/га, умовний чистий прибуток - на 5,5 тис. грн/га, рівень рентабельності - на 23,5%, а енергетичний коефіцієнт - на 0,43 [57].

Поліпшено технологію вирощування льону олійного сорту Орфей за умов обробки насіння мікродобривами та бактеріальними препаратами: Мікродобривом Наномікс Еліта для технічних (3 л/т) + вода (7 л/т); мікродобривом Росток Олійні (3 л/т) + вода (7 л/т); мікродобривом Реаком-СР-Льон (3 л/т) + вода (7 л/т); мікродобривом Квантум Технічні (3 л/т) + вода (7 л/т); бактеріальним препаратом Азотофіт (1,5 л/т) + вода (8,5 л/т); бактеріальним препаратом Фітоцид (3 л/т) + вода (7 л/т); бактеріальним препаратом Біокомплекс-БТУ-р (3 л/т) + вода (7 л/т); бактеріальним препаратом Органік баланс (3 л/т) + вода (7 л/т). Встановлено, що застосування мікродобрив та бактеріальних препаратів за обробки насіннєвого матеріалу льону олійного впливали на тривалість вегетаційного періоду, подовжуючи її на 2-6 діб залежно від варіантів досліду [57]. Максимальними показники були за варіанту обробки насіння мікродобривом Квантум Технічні (4 л/т) та бактеріальним препаратом Органік баланс (2 л/т), рослини в цьому варіанті мали більш високий габітус (49,8 см), листковий індекс (2,83), масу 1000 насінин (6,78 г), урожайність (1,71 т/га) та умовний вихід олії (0,773 т/га). За позакореневого підживлення мікродобривом та бактеріальним препаратом рослини за консервуючої технології мали тривалість вегетаційного періоду в 93 доби. Даний варіант з додатковим застосуванням аміачної селітри та біодеструктора стерні забезпечували висоту рослин культури до 54 см. Вирощування льону олійного за традиційною технологією та мульчувальною зменшували тривалість вегетаційного періоду і висоту рослин, як і використання окремо тільки мікродобрива, або окремо тільки бактеріального препарату. Використання сумішки бактеріального препарату Біокомплекс-БТУ-р дозою 0,7 л/га та системи мікродобрив Квантум дозою 4 л/га (комплексне хелатне добриво Квантум - Технічні (2,0 л/га) + функціональне мікродобриво Квантум-АкваСил (2,0 л/га)) з додаванням карбаміду 5 кг/га за робочого розчину 300 л/га, було оптимальним у поєднанні із застосуванням по рослинним залишкам попередника аміачної селітри (100 кг/га) та біодеструктора стерні ЕкоСтерн (2,5 л/га) за консервуючої технології вирощування льону олійного. Даний варіант забезпечував максимальну врожайність культури (1,86-1,95 т/га). Застосування біодеструктора стерні ЕкоСтерн дозою 2-2,5 л/га збільшувало загальну кількість грунтових мікроорганізмів, зокрема азофіксаторів та фосформобілізаторів, збільшувало кількість сапрофітних целюлозорозкладаючих грибів, у 1,5 раза зменшувало кількість денітрифікаторів, збільшувало кількість рухомих форм азоту, фосфору та калію і їх ступінь рухомості та підвищувало водоутримуючу здатність грунту [57].

Проведено визначення впливу передпосівної обробки насіння та фону живлення рослин на формування врожайності льону олійного середньостиглого сорту Надійний за вирощування на чорноземі південному в умовах Посушливого Степу України. Показано, що передпосівна обробка насіння мікроелементами, оптимізація фону живлення та обидва фактори у взаємодії сприяли збільшенню врожайності насіння льону олійного. Максимальну врожайність рослин у досліді одержали у варіантах N15P15K15 + Бор, N15P15K15 + Органік Д-2М та N15P15K15 + Баст Комплекс за умови проведення передпосівної обробки насіння мікродобривом Баст Комплекс – 1,54–1,61 т/га, тоді як в абсолютному контролі (обробка насіння водою, без внесення добрив) урожайність становила 1,03 т/га. Проведення передпосівної обробки насіння (Баст Комплекс, 0,5 л/т) та посівів у фазі «ялинка» мікроелементами (Бор, 1 л/га; Органік Д-2М, 2 л/га або Баст Комплекс, 1,5 л/га) на фоні основного внесення мінеральних добрив у нормі N15P15K15 сприяло збільшенню врожайності насіння льону олійного на 0,51–0,58 т/га або 49,5–56,3% [59].

Науковцями Інституту молекулярної біології і генетики НАН України створено вітчизняний мікробіологічний препарат КЛЕПС, який є комплексним препаратом, оскільки дуалом (гармонійним партнером) базової бактерії є азотфіксуюча бактерія, яка постачає рослинам біологічний азот, біостимулятори, посилює імунітет рослини і тим самим – попереджує захворювання. Кукурудза, гречка, ячмінь, овес, жито, пшениця яра та озима, томати, кабачки, морква, перець, буряк столовий, картопля, оброблені препаратом КЛЕПС, на ґрунтах без внесення азотних добрив та застосування протруйників (їх функції взяли на себе бактерії препарату), за-

безпечували: більш ранню і кращу схожість насіння, пришвидшення цвітіння й дозрівання рослин, вищий врожай (на 15-30 %), кращу якість врожаю (підвищення вмісту білка) [25].

Науковцями Інституту агроекології і природокористування НААН України упродовж останніх десятиліть досліджено вплив органо-мінеральних добрив, регуляторів росту рослин, мікробіологічних препаратів вітчизняного виробництва на екологічну безпеку, врожайність та якість продукції важливих сільськогосподарських культур (пшениці, кукурудзи, сої, соняшнику, ріпаку). Встановлено, що застосування Гумісолу і Вермістину (витяжки з біогумусу), органо-мінеральних добрив (Віталист, Оазис, Добродій), регуляторів росту рослин (Емістим, Ендофіт, Екостим, Неофіт, Вегестим, Ноостим, Гарт, Агростим), мікробіологічних препаратів (Азотовіт, Ембіонік) значно поліпшує ріст та розвиток, і підвищує врожайність та якість сільськогосподарських культур, відповідає екологічним вимогам, забезпечує охорону навколишнього природного середовища [26, 50]. Показано, що завдяки застосуванню регуляторів росту рослин знижуються норми внесення мінеральних добрив та пестицидів, що своєю чергою сприяє зменшенню вмісту важких металів і нітратів у продукції рослинництва. Створені в Україні препарати за токсикологічними властивостями є малотоксичними речовинами і за санітарно-гігієничною класифікацією належать до III–IV класу безпеки (ГОСТ 19.1.007.76). Вони не накопичуються в ґрунті, не спричиняють токсичної дії на ґрунтову мікрофлору та фауну, не шкодять комахам-запилювачам та об'єктам довкілля [26, 50].

Новітні регулятори росту рослин на основі азолів, азинів та їх конденсованих похідних. На сьогодні, існує великий попит на нові ефективні регулятори росту рослин, які спроможні виявляти споріднену до природних біорегуляторів (фітогормонів) фізіологічну активність, про що свідчать дані про те, що світові продажі регуляторів росту рослин (РРР) у 2022 році зросли до 2–3 мільярдів доларів США [60]. Як відомо, серед різних класів фітогормонів, ключову роль у регуляції росту та розвитку рослин протягом періоду онтогенезу виконують ауксини та цитокініни [56-63]. До ауксинів та цитокінінів належать як природні речовини, наприклад, ІОК (1*H*-індол-3-іл)оцтова кислота), зеатин (2-метил-4-(7*H*-пурин-6-іламіно)бут-2-ен-1-ол), кінетин (6-фурфуриладенін), так і їх синтетичні аналоги, такі як 4-Cl-ІОК (4-хлороіндоліл-3-оцтова кислота), 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксіоцтова кислота), 2,4,5-Т (2,4,5-трихлорфеноксіоцтова кислота), α-НОК (α-нафтилоцтова кислота), 1 - НОК (1-нафтил-3-оцтова кислота), ФОК (фенілоцтова кислота), БА (6-Бензиладенін) та БАП (6-бензиламінопурин), ПБА (*N*-бензил-9-(2-тетрагідропіраніл) аденін), тідіазурон (*N*-феніл-*N*'-(1,2,3-тіадіазол-5-іл)сечовина), *N*,*N*'-дифенілсечовина, та інші [61-68].

Протягом останніх десятиліть, значна увага приділяється пошуку нових синтетичних низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук (азолів, азинів та їх конденсованих похідних), які спроможні виявляти подібну фітогормонам ауксинам та цитокінінам регуляторну активність, тому вони можуть застосуватись в сільському господарстві як регулятори росту рослин, а також як гербіциди, пестициди та інсектициди [69-78], завдяки чому вони представляють найбільший потенціал для розробки нових екологічно безпечних біорегуляторів росту та продуктивності рослин, які виявляють також біозахисний ефект проти бур'янів та шкідників сільськогосподарських культур.

Науковцями ІБОНХ ім. В.П. Кухаря розроблені нові екологічно безпечні регулятори росту рослин на основі синтетичних низькомолекулярних азагетероциклічних сполук, похідних *N*-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), натрієвої та калієвої солей 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину (Метіур та Каметур), які як свідчать проведені колективами українських вчених дослідження, виявляють подібну фітогормонам ауксинам та цитокінінам стимулюючу регуляторну активність у діапазоні нетоксичних для здоров'я людини та тварин концентраціях від 10^{-4}М до 10^{-9}М на ріст та розвиток важливих для сільського господарства зернових, зернобобових та технічних культур (кукурудзи, пшениці, ячменю, гороху, сої, квасолі, нуту, соняшнику, льону, ріпаку, та ін.) протягом періоду вегетації, підвищують вміст фотосинтетичних пігментів: хлорофілів а, б та каротиноїдів, а також вміст загального розчинного білка та цукрів в листках рослин, посилюють адаптаційні властивості рослин до стресових абіотичних факторів таких як посуха, спека, засоленість грунту, а також поліпшують як складові компоненти поживних середовищ процеси мікроклонального розмноження в культурі *in vitro* плодових та декоративних рослин: вишні та мініатюрної троянди, а також їстівного грибу - гливи звичайної [78-87]. Проведені польові випробування регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру на важливих зернових, зернобобових та технічних культурах (сорго цукровому та зерновому, соняшнику, пшениці, вігни китайської, ріпаку та льону), показали високу ефективність цих регуляторів у діапазоні нетоксичних для здоров'я людини та тварин концентраціях від 10^{-4}М до 10^{-7}М, в окремому використанні або у композиції з мікродобривами Росток Екстра, виробництва ТОВ «Український Аграрний Ресурс» (Україна) та Радікс Тім форте плюс, виробництва компанії «Forcrop» (Іспанія), для передпосівної обробки насіння цих культур для поліпшення ростових показників пагонів та кореневої системи рослин, підвищення вмісту фотосинтетичних пігментів: хлорофілів а, б та каротиноїдів, а також підвищення біологічної та насіннєвої продуктивності рослин [88-93].

Важливим аспектом досліджень регуляторів росту рослин на основі синтетичних низькомолекулярних азагетероциклічних сполук, похідних *N*-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), натрієвої та калієвої солей 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину (Метіур та Каметур), є вивчення їх впливу у комбінації з поліпшувачем грунту біочаром (біовугіллям), отриманого українськими науковцями з відходів *Miscanthus x giganteus* (*M*×*g*), на ріст та роз-

виток важливої зернової та олійної культури кукурудзи протягом періоду вегетації на штучному субстраті - агроперліті, а також та на врожайність рослин кукурудзи, вирощених у відкритому ґрунті. Проведені дослідження показали, що обробка насіння кукурудзи біовугіллям, отриманого з відходів *M*×*g,* окремо або у комбінації із синтетичними регуляторами росту - Івіном, Метіуром та Каметуром, а також біовугіллям, отриманого з сільськогосподарських відходів та опалого листя, сприяла поліпшенню морфологічних характеристик рослин, підвищенню вмісту хлорофілів, каротиноїдів та загального розчинного білка в листках рослин, антиоксидантної здатності рослин, а також збільшенню виробництва біомаси рослин кукурудзи [94, 95]. Результати цих досліджень підтверджують переваги застосування біовугілля як добавки до штучного субстрату, такого як агроперліт, для підвищення ефективності дії синтетичних регуляторів - Івіну, Метіуру та Каметуру, а також як добавки до ґрунту для стимулювання росту рослин кукурудзи та підвищення їх врожайності. Спостережувані синергічні ефекти між біовугіллям та синтетичними регуляторами росту свідчать про те, що біовугілля підвищує ефективність регуляторного впливу на клітини рослин синтетичних регуляторів росту, потенційно шляхом введення необхідних мінералів у штучний субстрат для росту рослин та покращення поглинання води кореневою системою рослин. Здатність біовугілля збільшувати утримання води створює сприятливіше середовище для росту та розгалуження коренів рослин, тим самим посилюючи реакцію рослини на синтетичні регулятори росту, оптимізуючи умови вирощування рослин [94, 95]. Отримані дані свідчать про перспективу практичного застосування біовугілля, отриманого з відходів *M*×*g*, окремо або у комбінації з синтетичними регуляторами росту - Івіном, Метіуром та Каметуром, а також біовугілля, отриманого з сільськогосподарських відходів та опалого листя, для поліпшення росту та підвищення виробництва біомаси рослин кукурудзи протягом періоду вегетації.

Проведено дослідження, спрямовані на вивчення ролі регуляторів росту рослин у підвищення ефективності фіторемедіації ґрунтів від важких металів. Зокрема, було досліджено вплив синтетичного регулятора росту рослин Каметур (калієвої солі 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину) та полікомпонентного біостимулятора Чаркор, що містить композицію синтетичного регулятора росту рослин Івіну (*N*-оксид-2,6-диметилпіридину), біостимулятора рослин Емістиму С та синтетичного ауксину НОК (1-нафтилоцтової кислоти), на ріст рослин *Miscanthus*× *giganteus* (*M*×*g*) на забруднених мікроелементами (ТЕ) ґрунтах [96]. Були досліджені два індустріальних ґрунти з регіонів з високим рівнем антропогенного навантаження Північної Чехії: ґрунт Вшеборжице (Všebořice, територія колишнього гірничодобувного заводу) та ґрунт та Хомутов (Chomutov, місце колишньої військової діяльності). Обидва типи ґрунтів зазвичай характеризуються високим рівнем забруднення, порушеною структурою та низькою біологічною продуктивністю, та потребують серйозного екологічного моніторингу та вимагають рекультивації (комплексу заходів із відновлення родючості, очищення ґрунтів і ландшафтів, порушених господарською діяльністю, техногенними аваріями або війною) і фіторемедіації (використання рослин для очищення). При обробці *M*×*g* у більш забрудненому ґрунті Вшеборжице, Каметур сприяв підвищенню біомаси листя та стебла на 57,1% та 126%, відповідно, тоді як Чаркор лише збільшив біомасу листя на 49,5% у забрудненому ґрунті. У ґрунті Хомутова Чаркор збільшив накопичення елементів, необхідних для розвитку рослин (ЕЕ), та потенційно токсичних (ПТЕ) елементів у листі на 12,4% та 21,2%, відповідно; Каметур призвів до значно більшого накопичення елементів обох груп у листі на 93,1% та 69,5%, відповідно. Накопичення у стеблах мало іншу тенденцію: Чаркор зменшив накопичення ЕЕ та ПТЕ елементів у стеблі на 33,3% та 11,4%, відповідно; Каметур зменшив накопичення ЕЕ на 11,4% та збільшив накопичення РТЕ на 23,3% у стеблі, відповідно. Отримані результати підтвердили перспективність використання Каметуру та Чаркору для покращення росту, збільшення біомаси рослин та поліпшення процесів фіторемедіації рослин *M*×*g,* які вирощуються в умовах мілітарної деградації зрошуваних ґрунтів, та для післявоєнного відновлення ґрунтів [96].

Впродовж останніх років українськими вченими проводиться скринінг нових біологічно активних сполук серед синтетичних низькомолекулярних п’яти- та шестичленних гетероциклічних сполук як нових ефективних регуляторів росту рослин для їх практичного застосування в сільському господарстві, а також в галузі біотехнології для мікроклонального розмноження рослин в культурі *in vitro* та укорінення живців для вегетативного розмноження рослин [78, 97]. Проведені дослідження свідчать, що синтетичні низькомолекулярні п’яти- та шестичленні гетероциклічні сполуки (похідні піридину, піримідину, оксазолу, тіазолу, піразолу, ізофлаваноїдів, хлорохінолінів, хінолінілхалконів, 4-хлоропіридину, S-гетерилсукцинатів, тощо), застосовані у діапазоні низьких концентрацій 10^{-3}-10^{-9}М, спроможні виявляти споріднену фітогормонам (ауксинам, цитокінінам, гіберелінам) фізіологічну активність на ріст та розвиток зернових, зернобобових, овочевих та технічних культур, підвищувати адаптацію рослин до стресових абіотичних факторів (посухи та спеки), а також поліпшувати при їх застосуванні як складових компонентів поживних середовищ, процеси мікроклонального розмноження овочевих, технічних та декоративних рослин в культурі ізольованих клітин та тканин *in vitro*, а також укорінення живців сільськогосподарських та лікарських культур [78, 97-113]. Перевагою застосування низькомолекулярних азагетероциклічних сполук в сільськогосподарській і біотехнологічній практиці є їх висока ефективність і екологічна безпечність при використанні у діапазоні низьких нешкідливих для організму людини, тварин і рослин концентрацій – від 10^{-5}М до 10^{-9}М водного розчину, а також спроможність синтетичних низькомолекулярних азагетероциклічних сполук, зокрема *N*-

оксид-2,6-диметилпіридину (Івіну) та його похідних, знижувати токсичний ефект пестицидів на ссавців [52, 78].

Висновки. Наведені в оглядовій статті дані опублікованої літератури свідчать про перспективу практичного застосування в аграрній галузі різних країн світу та України екологічно безпечних біорегуляторів з поліфункціональною дією та новітніх регуляторів росту рослин на основі низькомолекулярних азотовмісних гетероциклічних сполук, для поліпшення росту та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур на фоні несприятливих факторів зовнішнього середовища, глобальних кліматичних змін, системного виснаження та забруднення ґрунтів, розповсюдження патогенів та шкідників, що сприятиме поліпшенню сучасного еколого-агромеліоративного стану та його відновлення, а також забезпеченню населення продуктами харчування для запобігання проблеми продовольчої кризи та збереженню земельних ресурсів.

References

1. Bayer P.E., Anderson R., and Edwards D. Climate change and the need for agricultural adaptation. Current opinion in plant biology. 2020. 56: 197–202. DOI: 10.1016/j.pbi.2019.12.006.

2. Dresselhaus T., Hückelhoven R. Biotic and Abiotic Stress Responses in Crop Plants. Agronomy. 2018. 8(11): 267. https://doi.org/10.3390/agronomy8110267.

3. Muluneh M.G. Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. Agric & Food Secur. 2021. 10: 36. https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5

4. Fahad S., Bajwa A.A., Nazir U., Anjum S.A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M.Z., Alharby H., Wu C., Wang D. and Huang J. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. Front. Plant Sci. 2017. 8: Article 1147. doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147.

5. Lamaoui M., Jemo M., Datla R. and Bekkaoui F. Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation. Front. Chem. 2018. 6. Article 26. doi: https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026.

6. Грицаєнко З.М. Біологічно активні речовини в рослинництві. К., ЗАТ "НІЧЛАВА", 2008. 352 с.

7. Patyka M.V., Khablak S.H., Bondareva L.M., Patyka T.I., Dolia M.M., Spychak V.M., Lykholat Y.V. Bacterial strategies for suppression and evasion of plant immunity: Molecular and cellular aspects. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2025. 16(3): e25139. doi:10.15421/0225139.

8. Wania S.H., Kumar V., Shriram V., Sah S.K. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. The Crop Journal. 2016. 4: 162–176. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.01.

9. Ahammed G.J., Yu J. (Eds.) Plant Hormones and Climate Change. Springer Nature, Singapore. 2023. 372 p.

10. Bulgari R., Cocetta G., Trivellini A., Vernieri P. and Ferrante A. Biostimulants and crop responses: A review. Biological Agriculture & Horticulture. 2015. 31(1): 1-17. https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649.

11. Gavelienė V., Pakalniškytė L., Novickienė L., Balciauskas L. Effect of biostimulants on cold resistance and productivity formation in winter rapeseed and winter wheat. Irish Journal of Agricultural and Food Ressearch. 2018. 57(1):71-83. DOI: 10.1515/ijafr-2018-0008

12. Khan N., Bano A., Babar M.D.A. The stimulatory effects of plant growth promoting rhizobacteria and plant growth regulators on wheat physiology grown in sandy soil. Arch Microbiol. 2019. 201(6): 769-785. DOI: 10.1007/s00203-019-01644-w.

13. Bhupenchandra I., Devi S.H., Basumatary A., Dutta S., Singh L.K., Kalita P., Borah K. Biostimulants: Potential and Prospects in Agriculture. International Research Journal of Pure and Applied Chemistry. 2020. 21(14): 20-35. https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1430244.

14. Hanhur V.V., Yeremko L.S., & Kocherha A.A. The effectiveness of bio-stimulators for pre-sowing treatment of sunflower seeds. Scientific Progress & Innovations. 2020. (2): 36–42. https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.04.

15. Farhat F., Arfan M., Wang X., Tariq A., Kamran M., Tabassum H.N., Tariq I., Mora Poblete F., Iqbal R., El-Sabrout A.M. and Elansary H.O. The Impact of Bio-Stimulants on Cd-Stressed Wheat (*Triticum aestivum* L.): Insights Into Growth, Chlorophyll Fluorescence, Cd Accumulation, and Osmolyte Regulation. Front. Plant Sci. 2022. 13: 850567. doi: 10.3389/fpls.2022.850567.

16. Navarro-León E, Borda E, Marín C, Sierras N, Blasco B, Ruiz JM. Application of an Enzymatic Hydrolysed L-α-Amino Acid Based Biostimulant to Improve Sunflower Tolerance to Imazamox. Plants. 2022. 11(20): 2761. https://doi.org/10.3390/plants11202761

17. Sîrbu C., Cioroianu T.M., Ionescu N., Marin N., Grigore A. Effectiveness of biostimulants applied to wheat, sunflower and soybean crops. Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022. LXV(1). 520 – 525.

18. Kubina L., Molnár Z., Süle B., Giczi Z., Nagy V., & Kalocsai R. Effects of Biostimulant and Zinc (Zn) Treatment on Qualitative and Quantitative Indicators of Winter Rape (*Brassica Napus* L.). Chemical Engineering Transactions. 2024. 114: 769-774. https://doi.org/10.3303/CET24114129.

19. Prasad K. Potential Impact of Green Biostimulants to Enhance Soil Health, Crop Physiology, Food Quality, and Agricultural Productivity Amidst Rising Global Population Demands. International Journal of Biomedical and Clinical Research. 2025. 4(3): 1-21.

20. Singh N., Maurya V., Gupta K. *et al.* Salt stress and its eco-friendly management using biostimulants in grain legumes: a review. Discov Agric. 2025. 3: 13. https://doi.org/10.1007/s44279-024-00150-y.

21. Younis A.S.M., Ramadan A.A., Abdallah M.M.S., Bakry B.A., El-Bassiouny H.M.S.,Biostimulants role in modulating the physiological attributes and antioxidant defense system for improving

the growth and productivity of flax plants. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2026. 72: 103929, https://doi.org/10.1016/j.bcab.2026.103929/

22. Malimbayeva A., Amangaliev B., Zhusupbekov E., Soltanayeva A., Sagimbayeva A., Oshakbayeva Z., Rustemova K., Batyrbek M. Effects of Different Mineral, Foliar Macro- and Micronutrient, and Biofertilizer Fertilization Strategies on Oil Flax (*Linum usitatissimum* L.) Yield and Seed Quality Under Semi-Arid Rainfed Conditions. International Journal of Plant Biology. 2026. 17(3): 19. https://doi.org/10.3390/ijpb17030019.

23. Filipczak A., Sobiech Ł., Wita A., Marecik R., Białas W., Grzanka M., Idziak R., Szulc P. Effect of Biostimulants Containing Rhizobacteria on the Growth of Wheat, Barley, and Oilseed Rape Under Various Soil Moisture Conditions. Agronomy. 2026. 16(3): 400. https://doi.org/10.3390/agronomy16030400.

24. Драговоз І.В., Антонюк В.П., Волкогон М.В., Яворська В.К. Технологія виготовлення комплексного регулятора росту зернових культур "Біовітрекс". Наука та інновації. 2008. 4(3): 32–42.

25. Остапчук М.О., Поліщук І.С., Мазур О.В., Максімов А.М. Використання біопрепаратів – перспективний напрямок вдосконалення агротехнологій. Сільське господарство та лісівництво. 2015. 2: 5-17.

26. Василенко М.Г., Стадник А.П., Душко П.М. Перспективи застосування органо-мінеральних добрив і регуляторів росту рослин. Agroecological Journal. 2017. 3: 96-102.

27. Наукові основи регуляції ростових і репродуктивних процесів рослин в насінництві батьківських компонентів гібридів соняшнику на основі комплексного застосування регуляторів росту та мікродобрив (методичні рекомендації). Рекомендації за редакцією доктора с.-г. наук, професора, академіка НААН України Кириченка В. В. 2021 р. 36 с.

28. Хаблак С.Г. Четверте покоління засобів захисту: індуктори системної стійкості рослин. Агробізнес Україна. 2024. 4: 26 – 36.

29. Blyuss K.B., Fatehi F., Tsygankova V.A., Biliavska L.O., Iutynska G.O., Yemets A.I., Blume Y.B. RNAi-Based Biocontrol of Wheat Nematodes Using Natural Poly-Component Biostimulants. Front. Plant Sci. 2019. 10: 483. DOI: 10.3389/fpls.2019.00483.

30. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Shysha E.N., Biliavska L.O., Galagan T.O., Galkin A.P., Yemets A.I., Iutynska G.A. and Blume Ya.B. RNAi-mediated Resistance against Plant Parasitic Nematodes of Wheat Plants Obtained in *Vitro* Using Bioregulators of Microbiological Origin. Current Chemical Biology. 2019. 13(1): 73–89. DOI: 10.2174/2212796812666180507130017.

31. Шиша О.М., Співак С.І., Циганкова В.А., Іутинська Г.О., Білявська Л.О., Ємець А.І., Блюм Я.Б. Застосування біорегуляторів мікробного походження для отримання *in vitro* ліній картоплі з підвищеною стійкістю до паразитичних нематод. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2020. 26: 287-292. https://doi.org/10.7124/FEEO.v26.1281.

32. Tsygankova V.A., Blyuss K.B., Shysha E.N., Biliavska L.A., Iutynska G.A., Andrusevich Ya.V., Ponomarenko S.P., Yemets A.I., Blume Ya.B. Using Microbial Biostimulants to Deliver RNA Interference in Plants as an Effective Tool for Biocontrol of Pathogenic Fungi, Parasitic Nematodes and Insects. In: Research Advances in Plant biotechnology. Series: Plant Science Research and Practices. (Ed.) Ya.B. Blume. USA: Nova Science Publishers, Inc., 2020, pp. 205-319.

33. Tsygankova V.A., Spivak S.I., Shysha E.N., Pastukhova N.L., Biliavska L.A., Iutynska G.A., Kyrylenko V.M., Yemets A.I., Blume Ya.B. The role of polycomponent biostimulants in increasing plant resistance to the biotic and abiotic stress factors. In: Agricultural Research Updates. Vol. 46. Editor(s): Prathamesh Gorawala and Srushti Mandhatri. Nova Science Publishers, Inc., NY, USA, 2023, pp. 1 – 86.

34. Loboda M., Iutynska G., Biliavska L., Tsygankova V., Sylchuk A., Blyuss K., Shysha E., Spivak S., Yemets A., Mariychuk R., Blume Y. Metabolic Bioproducts of Soil Streptomycetes and Their Effect on RNAi-Mediated Resistance of Tomato Plants Against Root-Knot Nematode Meloidogyne Incognita. Open Agric J. 2026. 20: e18743315443780. DOI: 10.2174/0118743315443780260114110802.

35. Курдиш І.К., Рой А.О., Грищенко Р.Є. Спосіб отримання нанокомпозитного комплексного бактеріального препарату для рослинництва. Пат. на корисну модель №135362. Опубл. 25.06.2019 р.

36. Курдиш І.К. Азогран - гранульований бактеріальний препарат нового покоління для рослинництва. Наука та інновації. 2009. 5(2): 50–52.

37. Kurdish I. Free-flowing complex bacterial preparation for crop and efficiency of its use in agroecosystems. J Microbiol Biotech Food Sci. 2015. 4(6): 527-531.

38. Мікроорганізми в стабілізації агроекосистем / за ред. В.П. Патики і В.В. Волкогона. – Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2021, 352 с.

39. Курдиш І.К. Застосування комплексного бактеріального препарату Азогран в рослинництві. Науково-методичні рекомендації. Київ, Академперіодика, 2024, 22 с.

40. Скороход І.О., Церковняк Л.С., Курдиш І.К., Плотніков В.В., Гильчук В.Г., Корнійчук О.В. Вплив гранульованого бактеріального препарату комплексної дії на ріст та урожай ярого ячменю. Мікробіологічний журнал. 2012. 74(3): 23-28.

41. Erdenetsogt U., Skorochod I.O., Kurdish I.K., Gorgo Yu.P. Antioxidant action of a nanocomposite biological product Azogran on seeds development of different varieties of barley. International Journal of Scientific and Research Publications. 2020. 10(4): 154-158.

42. Skorochod I., Erdenetsogt U., Dondov B., Kharkhota M. Phenolic compounds profiles of different barley varieties under the action of nanocomposite complex bacterial preparation Azogran in conditions of abiotic stress. European Food Research and Technology. 2024. 250: 1307-1325.

43. Корнійчук О.В., Плотніков В.В., Гильчук Г.Г., Рой А.О., Скороход І.О., Курдиш І.К. Вплив комплексного бактеріального препарату Азогран на врожайність пшениці озимої. Сільськогосподарська мікробіологія. 2018. 27: 67-73.

44. Kurdish I.K., Roy A.O., I.A. Skorochod Efficiency of the complex bacterial preparation Azogran application in protecting potatoes from the Colorado potato beetle depending on the stage of its development. Microbiol. J. 2021. 83(1): 3-11.

45. Пономаренко С.П., Циганкова В.А., Блюм Я.Б., Галкін А.П. Новий напрямок у рослинництві – застосування природних полікомпонентних регуляторів росту рослин з біозахисним ефектом. Наука та інновації. 2013. 9(5): 69-77. http://nbuv.gov.ua/UJRN/scinn_2013_9_5_10.

46. Tsygankova V.A., Stefanovska T.R., Galkin A.P., Ponomarenko S.P., Blume Ya.B. Inducing effect of PGRs on small regulatory si/miRNA in resistance to sugar beet cyst nematode. Comm. Appl. Biol. Sci., Ghent University (Belgium). 2012. 77(4): 779 - 788.

47. Циганкова В.А., Андрусевич Я.В., Бабаянц О. В., Пономаренко С.П., Медков А.І., Галкін А. П. Підвищення регуляторами росту імунітету рослин до патогенних грибів, шкідників і нематод. Фізіологія та біохімія культурних рослин. 2013. Т. 45, N 2. С. 138–147. http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2013_45_2_7.

48. Tsygankova V.A., Stefanovska T.R., Andrusevich Ya.V., Ponomarenko S.P., Yemets A.I., Grigorik I.O., Blume Ya.B. RNAi-mediated effect of biostimulant Regoplant in protection of common horse chestnut of *Aesculus* L. genus against damaging action of horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic. J. of Biol. and Nature. 2015. 4(1): 19 - 38.

49. Ponomarenko S.P., Hrytsaenko Z.M., Tsygankova V.A., Babayants O.V. Synergistic effect of bioregulators with pesticides and herbicides on improving growth, yield quality and crop resistance against pathogens and pests. Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America. JULY 17 – 21, 2016, SHERATON RALEIGH HOTEL, RALEIGH, NORTH CAROLINA, pp. 110-125.

50. Василенко М.Г. Органо-мінеральні добрива і регулятори росту рослин в органічному землеробстві. Вісник аграрної науки. 2017. 95(2): 11-18. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201702-02.

51. Циганкова В.А., Співак С.І., Шиша О.М., Пастухова Н.Л., Ємець А.І., Блюм Я.Б. Застосування біостимуляторів Регоплант та Стімпо для підвищення стійкості пшениці до умов засолення. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2021. 28: 117–122. https://doi.org/10.7124/FEEO.v28.1386.

52. Vasetska O., Zhminko P., Prodanchuk M., Galkin A., Tsygankova V. Perspective for using 2,6-dimethylpyridine-*N*-oxide to reduce the toxic effect of xenobiotics in mammals. J Adv Pharm Educ Res. 2022. 12(1): 21-29. DOI: 10.51847/TXCxI0PsO1.

53. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науково-практичні рекомендації) / За ред. В.В. Волкогона. К.: Аграрна наука, 2014, 250 с.

54. Патика В.П., Копилов Є.П., Надкерничний С.П. Хетомік як засіб біоконтролю збудників кореневих гнилей пшениці ярої. Вісник аграрної науки. 2010. 10: 25–28.

55. Gamayunova V., Honenko L., Gerla L., Kovalenko O., Glushko T., Sidyakina Y., Pilipenko T. Ecological Assessment Of Spring Oilseed Crops And Prospects For The Production Of Superior Quality Oils In Ukraine. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. 10(1): 519-528.

56. Kovalenko O., Gamajunova V., Neroda R., Smirnova I., Khonenko L. Advances in nutrition of sunflower on the southern steppe of Ukraine. In: Soils Under Stress: More Work for Soil Science in Ukraine. Springer International Publishing Switzerland, 2021. P. 215–223. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_21.

57. Коваленко О.А. Агроекологічне обгрунтування та розробка елементів біологізованих технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах Півдня України: дис. докт. с.-г. наук: 06.01.09. Херсон, 2021. 592 с.

58. Коваленко О.А., Нерода Р.С. Вирощування соняшнику: вплив позакореневих підживлень мікродобривами на ріст, розвиток та продуктивність в умовах Півдня України: Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2022. str. 467-503. https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13972.

59. Гамаюнова В.В. Задирко Р.В. Вплив макро- та мікродобрив на формування врожайності льону олійного в умовах південного степу України. Аграрні інновації. 2024. 23: 234-240. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.34.

60. Wu X., Gong D., Zhao K., Chen D., Dong Y., Gao Y., Wang Q., Hao G.F. Research and development trends in plant growth regulators. Advanced Agrochem. 2024. 3(1): 99-106. https://doi.org/10.1016/j.aac.2023.11.005.

61. Sosnowski J., Truba M., Vasileva V. The Impact of Auxin and Cytokinin on the Growth and Development of Selected Crops. Agriculture. 2023. 13(3): 724. https://doi.org/10.3390/agriculture13030724.

62. Simon S., Kubeš M., Baster P., Robert S., Dobrev P.I., Friml J., Petrášek J., Zažímalová E. Defining the selectivity of processes along the auxin response chain: a study using auxin analogues. New Phytol. 2013. 200(4): 1034-1048. DOI: 10.1111/nph.12437

63. Rigal A., Ma Q. and Robert S. Unraveling plant hormone signaling through the use of small molecules. Frontiers in Plant Science. 2014. 5. Article 373: 1–2. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00373.

64. Ma Q., Grones P., Robert S. Auxin signaling: a big question to be addressed by small molecules. *Journal of Experimental Botany.* 2018. 69(2): 313–328. https://doi.org/10.1093/jxb/erx375.

65. Novickienė L., Asakavičiūtė R. Analogues of auxin modifying growth and development of some monocot and dicot plants. Acta Physiol Plant. 2006. 28(6): 509 – 515. https://doi.org/10.1007/s11738-006-0046-6.

66. Vylíčilová H., Bryksová M., Matušková V., Doležal K., Plíhalová L., Strnad M. Naturally

Occurring and Artificial N9-Cytokinin Conjugates: From Synthesis to Biological Activity and Back. Biomolecules. 2020. 10(6): 832. https://doi.org/10.3390/biom10060832.

67. Naseem A., Mohammad F. Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator. Singapore: Springer, 2018. 491 p. DOI: 10.1007/978-981-10-8004-3.

68. Basuchaudhuri P. Synthetic Auxin and Cytokinin like Plant Growth Regulators. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation. 2024. 5(5): 334-346. DOI: 10.54660/.IJMRGE.2024.5.5.334-346.

69. Shimanskaya M.V., Leitis L.Y. Plant-protection agents based on compounds of the pyridine series (review). Chem Heterocycl Compd. 1989. 25: 477–485. https://doi.org/10.1007/BF00482487.

70. Novel pyrimidine derivative, herbicide and plant growth regulator: pat. EP0713872A1. PCT/JP94/01311. WO/1995/04725. publ. 16.02.1995.

71. Mansfield D.J., Rieck H., Greul J., Coqueron P.Y., Desbordes P., Genix P., Grosjean-Cournoyer M.C., Perez J., Villier A. Pyridine derivatives as fungicidal compounds. Patent US7754741B2. 2010.

72. Isothiazole and pyrazole derivatives for use as plant growth regulators: pat. EP2358699A1 EP. PCT/EP2009/066956; publ. 24.08.2011.

73. Pyrimidine derivatives and their use for controlling undesired plant growth: pat. US 8329717 B2 USA. N 12/646,070; publ. 11.12.2012.

74. Novel pyridine derivatives and method for preparation of intermediate compound for producing sulfonylurea herbicides using the same: pat. WO2014010990A1. PCT/KR2013/006269. publ. 2014-01-16.

75. Use of pyrimidines in stimulation of plant growth and development and enhancement of stress tolerance: pat. US2016/0000075 A1 USA. PCT/TR2014/000051; publ. 07.01.2016.

76. Kamal El-Dean A.M., Abd-Ella A.A., Hassanien R., El-Sayed M.E.A., Zaki R.M., and Abdel-Raheem Sh.A.A. Chemical design and toxicity evaluation of new pyrimidothienotetrahydroisoquinolines as potential insecticidal agents. Toxicol. Rep. 2019. 6: 100-104. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.12.004

77. Li J.H., Wang Y., Wu Y.P., Li R.H., Liang S., Zhang J., Zhu Y.G., Xie BJ. Synthesis, herbicidal activity study and molecular docking of novel pyrimidine thiourea. Pestic Biochem Physiol. 2021. 172: 104766. doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104766.

78. Циганкова В.А., Броварець В.С., Ємець А.І., Блюм Я.Б. Перспективи розробки в Україні регуляторів росту рослин на основі азолів, азинів та їх конденсованих похідних. Синтез і біоактивність функціоналізованих азотовмісних гетероциклів/за ред. А.І.Вовка. Київ: Інтерсервіс, 2021. С. 246–328.

79. Застосування похідних піримідину – Метіуру натрієвої солі та Метіуру калієвої солі, для інтенсифікації росту рослин кукурудзи: пат. 130921 Україна. № u201808152: заявл. 23.07.2018, опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.

80. Rudnytska M., Palladina T. Effect of Preparations Methyure and Ivine on Ca^{2+}-ATPases Activity in Plasma and Vacuolar Membrane of Corn Seedling Roots under Salt Stress Conditions. Ukr. Biochem. J. 2017. 89: 76–81.

81. Tsygankova V.A., Oliynyk O.O., Kvasko O.Yu., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Effect of Plant Growth Regulators Ivin, Methyur and Kamethur on the Organogenesis of Miniature Rose (*Rosa mini* L.) *In Vitro*. Int J Med Biotechnol Genetics. 2022. S1:02:001: 1–8. http://scidoc.org/IJMBG-2379-1020-S1-02-001.php.

82. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusevich Ya.V., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Use Of Synthetic Plant Growth Regulators In Combination With Fertilizers to Improve Wheat Growth. Int J Med Biotechnol Genetics. 2023. S1:02:002: 9-14. http://scidoc.org/IJMBGS1V2.php.

83. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusevich Ya.V., Pilyo S.G., Brovarets V.S. Effect of plant growth regulators and fertilizers on the vegetative growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The scientific heritage. 2023. 116: 3–9. DOI: 10.5281/zenodo.8129039.

84. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusevich Ya.V., Kopich V.M., Klyuchko S.V., Pilyo S.G., Brovarets V.S. Use of Ivin, Methyur, Kamethur and microfertilizers to improve the growth of oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.). Annali d'Italia. 2023. 48: 3–10. DOI: 10.5281/zenodo.10034697.

85. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusevich Ya.V., Kopich V.M., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Synergistic effect of synthetic plant growth regulators and microfertilizers on the growth of canola (*Brassica napus* L.). Danish Scientific Journal (DSJ). 2023. 77(1): 8–12. DOI: 10.5281/zenodo.10053315.

86. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusevich Ya.V., Kopich V.M., Pilyo S.G., Popilnichenko S.V., Azizov I.V., Brovarets V.S. Synergistic effect of synthetic plant growth regulators Ivin, Methyur, Kamethur and biofertilizers Rostok extra and Radix Tim forte+ on wheat growth during the vegetation period. Nov Tech Nutri Food Sci. 2025. 8(4): 879 – 890. DOI: 10.31031/NTNF.2025.08.000694

87. Krupodorova T., Barshteyn V., Tsygankova V., Sevindik M., Blume Ya. Strain-specific features of *Pleurotus ostreatus* growth *in vitro* and some of its biological activities. BMC Biotechnol. 2024. 24: 9(1): 1-14. DOI:10.1186/s12896-024-00834-9.

88. Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Kopich V.M., Pilyo S.H., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Studying the effect of plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur on growth and productivity of sunflower. Journal of Advances in Agriculture. 2023. 14: 17–24. DOI**:** https://doi.org/10.24297/jaa.v14i.9453.

89. Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Pilyo S.H., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Enhancing Sorghum Productivity with Methyur, Kamethur, and Ivin Plant Growth Regulators. Biology and Life Sciences Forum. 2023. 27(1): 36. https://doi.org/10.3390/IECAG2023-15222.

90. Tsygankova V.A., Kopich V.M., Vasylenko N.M., Golovchenko O.V., Pilyo S.G., Malienko M.V., Brovarets V.S. Increasing the

productivity of wheat using synthetic plant growth regulators Methyur, Kamethur and Ivin. Znanstvena misel journal. 2024. 94: 22–26. DOI: 10.5281/zenodo.13860706.

91. Kovalenko O.A., Mikolaychuk V.G., Tsygankova V. A., Andreev A.M., Pilyo S.G., Brovarets V.S. Influence of the plant growth regulator Kamethur on the morphological features and yield of Chinese cowpea (*Vigna sinensis* L.). Sciences of Europe. 2025. 1(166): 3–17. DOI: 10.5281/zenodo.15654466.

92. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Kovalenko O.A., Pilyo S.G., Popilnichenko S.V. Influence of synthetic plant growth regulators and microfertilizers on the yield of rapeseed and oil flax. Polish journal of science. 2026. 97: 29 – 38. DOI: 10.5281/zenodo.19703609.

93. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Kovalenko O.A., Pilyo S.G., Popilnichenko S.V. Use of plant growth regulators and microfertilizers to increase the productivity of wheat and sunflower. Slovak international scientific journal. 2026. 106: 21 – 32. DOI: 10.5281/zenodo.19586887.

94. Stefanovska T., Tsygankova V., Klius V., Medkov A. Enhancing the Vegetative Growth of Maize using Biochar from *Miscanthus x giganteus* Waste and Synthetic Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds. Eur J Biol. 2025. 84(2). P. 1-11 DOI: 10.26650/EurJBiol.2025.1641893

95. Pidlisnyuk V., Herts A., Kononchuk O., Khomenchuk V., Horyn O., Markiv V. and Mamirova A. Comprehensive study of biochars from diferent vegetative feedstocks: infuence on soil properties and development o*f Zea mays* L. Environmental Sciences Europe. 2025 37: 77. https://doi.org/10.1186/s12302-025-01118-5

96. Pidlisnyuk V., Mamirova A., Newton R.A., Stefanovska T., Zhukov O., Tsygankova V., and Shapoval P. The role of plant growth regulators in *Miscanthus* × *giganteus* utilisation on soils contaminated with trace elements. Agronomy. 2022. 12(12): 2999. https://doi.org/10.3390/agronomy12122999.

97. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Shtompel O.I., Solomyanny R. M., Hurenko A.O., Frasinyuk M.S., Mrug G.P., Shablykin O.V., Pilyo S.G., Kornienko A.M. & Brovarets V.S. New Auxin and Cytokinin Related Compounds Based on Synthetic Low Molecular Weight Heterocycles/ V.A.Tsygankova, et al. Chapter 16. P. 353-377. In: Aftab T. (Ed.) Auxins, Cytokinins and Gibberellins Signaling in Plants. Signaling and Communication in Plants. Springer Nature Switzerland AG. 2022. 377 p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05427-3_16.

98. Tsygankova V.A., Bayer O.O., Andrusevich Ya.V., Galkin A.P., Brovarets V.S., Yemets A.I., Blume Ya.B. Screening of five and six-membered nitrogen-containing heterocyclic compounds as new effective stimulants of *Linum usitatissimum* L. organogenesis *in vitro*. Int. J. Med. Biotechnol.Genetics. 2016. S2:001: 1 - 9. DOI: 10.19070/2379-1020-SI02001

99. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya, Shtompel O., Romaniuk O., Yaikova M., Hurenko A., Solomyanny R., Abdurakhmanova E., Klyuchko S., Holovchenko O. Application of Synthetic Low Molecular Weight Heterocyclic Compounds Derivatives of Pyrimidine, Pyrazole and Oxazole in Agricultural Biotechnology as a New Plant Growth Regulating Substances. Int. J. Med. Biotech. Genetics. 2017. S2:002: 10-32. **doi:** dx.doi.org/10.19070/2379-1020-SI02002**.**

100. Т7-Циклоамінозаміщені оксазоло[4,5-*d*]піримідини як регулятори росту рослин: пат. 119425 Україна: МПК. A01N 43/72, C07D 263/00, A01P 21/00. № a 2018 09372; заявл. 30.10.2017; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11.

101. Застосування похідних оксазолу та оксазолопіримідину як регулятора росту рослин: пат. 123946 Україна: МПК. C07D 277/06, C07D 417/04, A01P 35/00. № u 2017 10444; заявл. 30.10.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.

102. Застосування похідних піримідину, піразолу та піразолотриазину як регуляторів росту рослин кукурудзи: пат. 128938 Україна: МПК. C07D 277/06, C07D 417/04, A01P 21/00. № u 2018 04937; заявл. 10.10.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

103. Могільнікова І.В., Циганкова В.А., Соломянний Р.М., Броварець В.С., Білько Н.М., Ємець А.І. Скринінг рістстимулювальної активності синтетичних сполук – похідних піримідину. Доповіді Національної академії наук України. 2020. 10: 62-70. https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.10.062

104. Могільнікова І.В., Циганкова В.А., Гуренко А.О., Броварець В.С., Білько Н.М., Ємець А.І. Вплив похідних піразолу на ріст і розвиток рослин в умовах *in vivo* та *in vitro.* Доповіді Національної академії наук України. 2021. 6: 108-119. https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.108.

105. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Kopich V.M., Voloshchuk I.V., Bondarenko O.M., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Effect of pyrimidine and pyridine derivatives on the growth and photosynthesis of pea microgreens. Int J Med Biotechnol Genetics. 2023. S1:02:003:15-22. https://scidoc.org/IJMBGS1V2.php.

106. Tsygankova V.A., Kopich V.M., Voloshchuk I.V., Pilyo S.G., Klyuchko S. V., Brovarets V.S. New growth regulators of barley based on pyrimidine and pyridine derivatives. Sciences of Europe. 2023. 124: 13–23. DOI:10.5281/zenodo.8327852. https://doi.org/10.5281/zenodo.8327852.

107. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Vasylenko N.M., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Screening of Auxin-like Substances among Synthetic Compounds, Derivatives of Pyridine and Pyrimidine. J Plant Sci Phytopathol. 2023. 7: 151-156. DOI: 10.29328/journal.jpsp.1001121.

108. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Vasylenko N.M., Kopich V.M., Popilnichenko S.V., Pilyo S.G., Brovarets V.S. Auxin-like and cytokinin-like effects of new synthetic pyrimidine derivatives on the growth and photosynthesis of wheat. J Plant Sci Phytopathol. 2024. 8(1): 15 – 24. DOI: https://dx.doi.org/10.29328/journal.jpsp.1001126.

109. Tsygankova V.A., Andrusevich Ya.V., Vasylenko N.M., Kopich V.M., Solomyannyi R.M., Pilyo S.G., Kachaeva M.V., Bondarenko O.M., Kozachenko O.P., Popilnichenko S.V., Brovarets V.S.

Application of New Maize Growth Regulators Based on Furopyrimidine Derivatives under Heat and Drought Stress Conditions. Nutri Food Sci Int J. 2025. 14(4): 555893. DOI: 10.19080/NFSIJ.2025.14.555893.

110. Tsygankova V.A., Vasylenko N.M., Kopich V.M., Solomyannyi R.M., Kachaeva M.V., Pilyo S.G., Kozachenko O.P., Bondarenko O.M., Popilnichenko S.V., Brovarets V.S. Novel Pyrimidine Derivatives as Regulators of Barley Growth and Photosynthesis During the Vegetation Period. J. Nutrition and Food Processing. 2025. 8(7): 1-12. DOI: 10.31579/2637-8914/333.

111. Завгородній М.П., Derevianko N. P., Shkopynska T.E., Brazhko O.A., Kornet M. M., Gencheva V.I., Luchkevych E.R., Shupenyuk V.I. Вивчення впливу дії S-гетерилсукцинатів на мікроклональне розмноження декоративних рослин. Фармацевтичний часопис. 2024. 3: 21-34. https://doi.org/10.11603/2312-0967.2024.3.14838.

112. Kobets O., Dereviank, N., Zavhorodnii M., & Berezovska M. Prospects for the use of growth regulators in vegetative propagation technology of *Lavandula angustifolia.* Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2024. 15(2): 198-206. https://doi.org/10.15421/022429.

113. Stoyanova K., Gavrilyuk A., Skoreiko A., & Andriychuk T. Pyrimidine derivatives impact and development cultivar-differentiators of potato wart in culture *in vitro*. Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety. 2025. (71): 143-150. https://doi.org/10.36495/PHSS.2025.71.143-150.

ECONOMIC SCIENCES

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF BUSINESS AND EDUCATION INTERACTION: THE CHINESE EXPERIENCE

Tleshbayeva R.
Doctoral Student of the Educational Program
"8D04102 – Business Administration"
Almaty Management University
Almaty, Republic of Kazakhstan
Cheirkhanova A.
PhD
Almaty Technological University
Almaty, Republic of Kazakhstan
DOI: 10.5281/zenodo.20456097

Abstract

In the context of the digital transformation of the global economy, the interaction between business and the education system is becoming strategically important for the development of human capital and digital competencies. The purpose of this study is to analyze the Chinese experience in implementing digital technologies in business education and the corporate sector, as well as to identify the possibilities for its adaptation in Kazakhstan.

The methodological basis of the study includes the Triple Helix concept, the theory of digital transformation in education, and the ecosystem approach. The research employs comparative analysis, case study analysis, content analysis, and a systems approach.

The results of the study demonstrate that the Chinese model is characterized by a high level of digitalization, active use of LMS, ERP, CRM, Big Data, and AI technologies, as well as close integration between universities and the corporate sector.

It has been established that the adaptation of the Chinese experience can contribute to the development of digital business education, corporate training, and university–business partnerships in Kazakhstan.

The information base of the study includes scientific publications, official university websites, analytical materials, and international studies in the field of digital education and corporate training.

Keywords: digitalization, business education, corporate sector, digital platforms, China, university – business interaction.

Introduction. The development of the digital economy has a significant impact on the system of higher and business education. In the context of digitalization, labor market requirements, approaches to personnel training, and mechanisms of interaction between educational institutions and the corporate sector are changing. Modern companies require specialists with digital competencies, skills in working with information systems, and the ability to adapt to rapidly changing conditions of the digital environment.

Under these conditions, the interaction between business and education becomes particularly relevant. The integration of universities and the corporate sector contributes to the development of practical competencies, the formation of an innovative environment, and the improvement of human capital competitiveness.

China is one of the global leaders in the field of digital transformation in education. Chinese business schools actively implement digital platforms, artificial intelligence technologies, Big Data, and corporate learning systems. In addition, China has developed an effective model of interaction between universities and business focused on practice-oriented learning and the development of digital competencies.

In Kazakhstan, the processes of digitalization in business education are also developing actively; however, the level of integration between educational institutions and business remains insufficient. In this regard, the study of the Chinese experience is of considerable scientific and practical interest.

Research Question and Hypothesis. How can the Chinese model of digital integration between business education and the corporate sector be adapted to the conditions of Kazakhstan's higher education system?

The integration of digital platforms, corporate training systems, and partnership relations between universities and business, based on the Chinese experience, can improve the effectiveness of business education and the development of digital competencies in Kazakhstan.

Literature Review. The issues of digitalization in education and the interaction between business and universities are actively studied in contemporary scientific literature. Many researchers note that digital transformation affects not only economic processes but also personnel training mechanisms.

The Fourth Industrial Revolution creates new requirements for professional competencies and accelerates the implementation of digital technologies in the educational environment. In his research, Schwab K. emphasizes the importance of developing flexible educational models and lifelong learning [1].

The issues of university–business integration are considered within the framework of the Triple Helix concept proposed by H. Etzkowitz and L. Leydesdorff.

The authors emphasize that interaction between universities, business, and government is a key factor in the innovative development of the economy [2].

A significant contribution to the development of this concept was made by Y. Cai and H. Etzkowitz in the article *"Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future."* The authors consider the Triple Helix as a theoretical and practical foundation for the formation of an innovation economy and digital ecosystems.

The researchers emphasize that interaction between universities, business, and government is becoming a key factor in innovative and technological development. Under modern conditions, universities increasingly perform entrepreneurial functions, business participates in educational processes, and the government creates institutional conditions for digital transformation.

Particular attention is paid to the impact of digitalization on the development of the Triple Helix model. According to Cai and Etzkowitz, digital platforms, Big Data, and artificial intelligence strengthen the integration of the educational environment and the corporate sector by creating new mechanisms for knowledge exchange and innovation.

The authors also note that the Triple Helix model can be effectively applied to the analysis of interaction between business education and the corporate sector. In the context of the digital economy, this concept allows the study of digital educational ecosystems, corporate training, and university–business partnerships [3].

Studies by Huang et al. show that Chinese universities actively use artificial intelligence technologies and Big Data in educational systems. The authors note that digital platforms improve learning management efficiency and provide flexibility in the educational process [4].

Li et al. analyze the processes of digital transformation in Chinese business education and conclude that the use of ERP, CRM, and LMS systems contributes to the development of students' practical managerial skills [5].

Despite the significant number of studies, the issues of adapting the Chinese experience of digitalization in business education to Kazakhstan remain insufficiently explored. In particular, the mechanisms of integration between universities and the corporate sector in the context of the digital economy have received limited attention. Kazakhstani researchers mainly focus on individual aspects of educational digitalization, e-learning, and the development of digital infrastructure [6–9].

At the same time, the issues of integration between business education and the corporate sector in the context of digitalization, especially from the perspective of adapting the Chinese experience, remain insufficiently studied. Unlike existing studies focusing on отдельные aspects of educational digitalization, this article examines a comprehensive model of interaction between business education and the corporate sector based on the adaptation of the Chinese experience to the conditions of Kazakhstan. Despite the growing number of studies on digital education, limited attention has been paid to adapting Chinese university–business integration models to Kazakhstan's business education system.

Research Methodology. The methodological framework of the study is based on the Triple Helix concept, the theory of digital transformation in education, and the ecosystem approach. To increase the reliability of the results, scientific publications, analytical materials, and practical cases of Chinese business schools were comparatively analyzed.

In the context of the formation of the digital economy, the business education system is undergoing significant changes. The development of digital technologies, automation of business processes, and growth of data volumes create new requirements for personnel training and interaction between educational institutions and the corporate sector. The modern labor market requires specialists possessing digital competencies, information system skills, and the ability to adapt to rapidly changing conditions of the digital environment.

The object of the study is Chinese business schools implementing digital models of business education and corporate training. The subject of the study is the mechanisms of digital interaction between universities and the corporate sector under conditions of economic digital transformation.

Chinese business schools actively implement digital education models.

To study the mechanisms of digital interaction between business and education, the practices of leading Chinese business schools actively implementing digital technologies and corporate learning models were examined. The analysis showed that the Chinese business education system is characterized by a high degree of integration between universities and the corporate sector, as well as extensive use of digital platforms and analytical systems.

One of the most representative examples is the China Europe International Business School (CEIBS), which is considered one of the leading business schools in Asia. CEIBS actively uses digital educational technologies, online learning systems, and artificial intelligence-based analytical tools. An important feature of the school is its close cooperation with international corporations and its focus on practice-oriented learning. Corporate projects, internships, and business participation in the educational process allow students to develop modern managerial and digital competencies. In addition, CEIBS actively develops executive education programs aimed at improving managerial qualifications in the context of the digital economy [10].

The experience of the School of Management of Fudan University is also of significant interest. The university actively implements Big Data technologies, digital analytical platforms, and educational management systems. A key feature is the cooperation of the business school with Chinese technology companies and the integration of ERP, CRM, and business analytics into management education. The use of digital platforms provides flexibility in the educational process and contributes to the development of an innovative educational environment [11].

Another successful example is the Antai College of Economics and Management at Shanghai Jiao Tong University. The college implements a strategy of digital transformation in education and actively cooperates with the corporate sector. Particular attention is paid to the development of online learning systems, corporate educational programs, and digital platforms for executive education. Cooperation with Chinese and international companies allows the integration of practical business cases into the educational process and improves the quality of specialist training [12].

The conducted analysis shows that the common features of Chinese business schools include a high level of digitalization, close integration with the corporate sector, the development of practice-oriented learning, and the use of digital platforms in educational management processes. This experience is of practical interest for Kazakhstan in the context of modernizing business education and developing university–business partnerships.

Digitalization has a comprehensive impact on the business education system. Traditional educational models are gradually transforming into flexible digital ecosystems based on the use of online platforms, cloud technologies, artificial intelligence, and analytical tools. In this regard, EdTech and Smart Education, aimed at integrating technologies into the educational process, are becoming particularly important.

Table 1

Comparative Characteristics of Business Education Models in China and Kazakhstan

Criteria	Kazakhstan	China
Level of digitalization	Medium	High
Use of LMS	Partial	Extensive
ERP/CRM training	Limited	Integrated
Practice orientation	Medium	High
Corporate partnership	Limited	Systematic
AI and Big Data	Low level	Active implementation

Source: Compiled by the author.

According to Table 1, the Chinese model is characterized by a higher level of digital integration and a closer connection between educational programs and business needs. In Kazakhstan, digitalization is developing less systematically, which limits the effectiveness of interaction between business and the educational environment.

Modern models of interaction between business and education are aimed at developing practical competencies and integrating the educational process with the requirements of the corporate sector. The most common models include dual education, corporate universities, and industrial partnerships.

Dual education combines theoretical training with practical activities at enterprises. Corporate universities are established by large companies for continuous staff training and the development of digital competencies. Industrial partnerships involve the joint participation of universities and business in educational and research projects.

Table 2

Elements of the corporate training system

Element	**Content**	**Result**
Corporate training programs	Professional development	Competency growth
Online learning	LMS and digital courses	Learning flexibility
Practical case studies	Solving business problems	Practical skills
Internships	Work in companies	Adaptation to the labor market
Reskilling/Upskilling	Acquisition of new skills	Human capital development

Source: Compiled by the author.

Modern corporate training models are focused on the continuous development of personnel and adaptation to the conditions of the digital economy. These mechanisms are especially actively used in the Chinese business education system.

The presented model (Figure 1) reflects the integration of the educational environment, digital platforms, and the corporate sector into a unified personnel training system.

The Chinese business education system is characterized by a high level of digitalization and practical orientation. Chinese business schools actively implement digital platforms, artificial intelligence technologies, and analytical learning management systems.

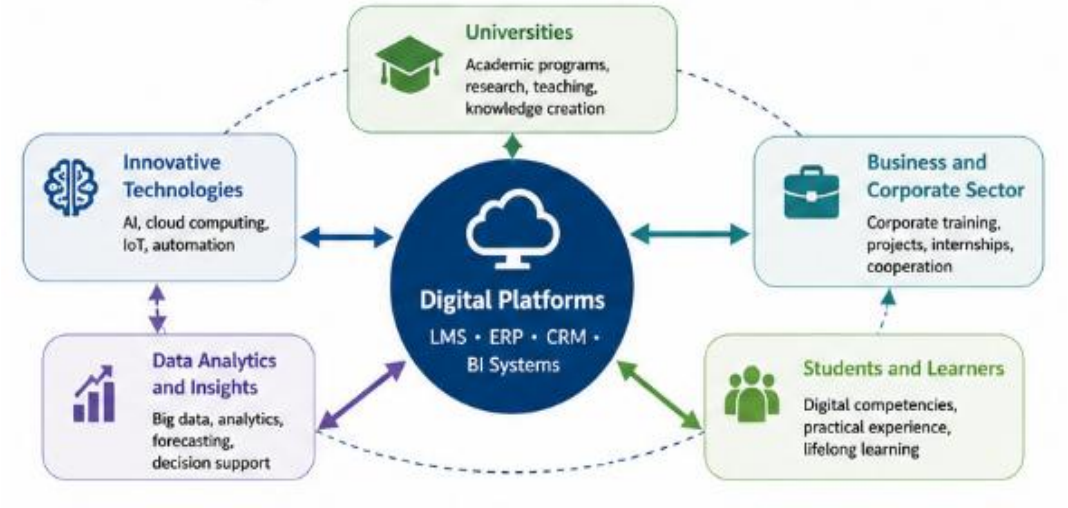
Universities
Academic programs, research, teaching, knowledge creation
Innovative Technologies
AI, cloud computing, IoT, automation
Business and Corporate Sector
Corporate training, projects, internships, cooperation
Digital Platforms
LMS • ERP • CRM • BI Systems
Data Analytics and Insights
Big data, analytics, forecasting, decision support
Students and Learners
Digital competencies, practical experience, lifelong learning

Figure 1. Model of Digital Integration Between Business and Education
Source: Compiled by the author.

LMS platforms, cloud technologies, and Big Data tools are widely used in the educational environment. The use of AI makes it possible to automate knowledge assessment, analyze student behavior, and create individualized learning trajectories.

Table 3

Characteristics of Digital Platforms in Business Education

Platform	Purpose	Advantages
LMS	Online learning	Flexibility and accessibility
ERP	Resource management	Practical skills
CRM	Customer process management	Preparation for the business environment
BI systems	Data analytics	Decision-making support
Cloud systems	Data storage	Process integration

Source: Compiled by the author.

The data presented in Table 3 show that digital platforms play a key role in the transformation of modern business education. The use of LMS, ERP, and CRM systems contributes to the development of practical skills, increases learning flexibility, and integrates the educational process with the needs of the corporate sector.

BI systems and cloud technologies are of particular importance as they provide analytical support, data processing, and effective management of educational processes. The analysis demonstrates that the implementation of digital platforms improves the quality of specialist training and contributes to the development of digital competencies in the context of the digital economy.

A key feature of the Chinese model is the close integration between universities and business. Corporate partners participate in the development of educational programs, organization of internships, and implementation of research projects.

Practice-oriented learning allows students to gain professional experience during the educational process. Large Chinese companies establish corporate universities and digital platforms for continuous learning.

Figure 2 reflects the mechanism of interaction between universities and the corporate sector in the context of the digital economy. The model demonstrates the interconnection between educational programs, joint projects, internships, and corporate training aimed at developing practical and digital competencies. Feedback from the business sector plays a particularly important role in this system, ensuring the adaptation of educational programs to labor market requirements.

Figure 2. University–Business Interaction Mechanism
Source: Compiled by the author [2,3].

In the Chinese educational system, digital platforms are used not only for organizing the learning process but also for integrating business and education into a unified digital ecosystem.

ERP and CRM systems are applied for educational purposes to model business processes and develop managerial skills. Online learning systems provide distance education and access to educational resources.

Digital analytics plays a particularly important role. BI systems and Big Data technologies make it possible to analyze learning outcomes, forecast labor market needs, and improve the quality of managerial decision-making.

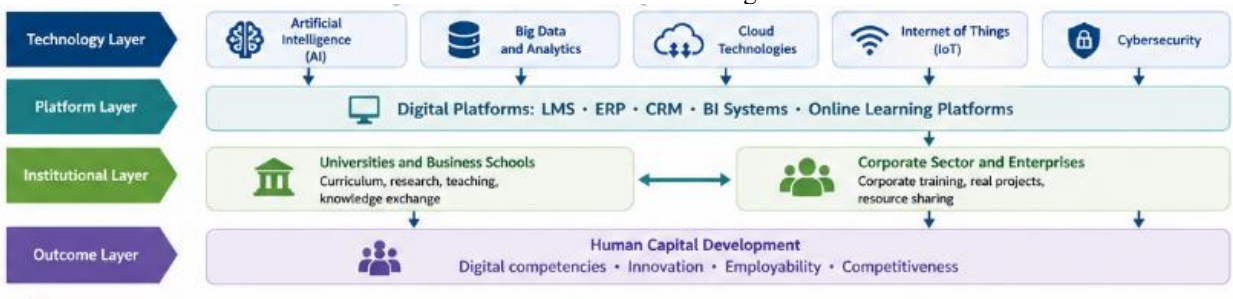
Technology Layer
Artificial Intelligence (AI)
Big Data and Analytics
Cloud Technologies
Internet of Things (IoT)
Cybersecurity
Platform Layer
Digital Platforms: LMS · ERP · CRM · BI Systems · Online Learning Platforms
Institutional Layer
Universities and Business Schools
Curriculum, research, teaching, knowledge exchange
Corporate Sector and Enterprises
Corporate training, real projects, resource sharing
Outcome Layer
Human Capital Development
Digital competencies · Innovation · Employability · Competitiveness

Figure 3. Digital Ecosystem Scheme of Business Education
Source: Compiled by the author [2,3].

Figure 3 reflects the structure of the digital ecosystem of business education in the context of the digital economy. The model demonstrates the interconnection between artificial intelligence, Big Data, cloud technologies, and digital platforms (LMS, ERP, CRM, BI systems) in the process of interaction between universities and the corporate sector.

Digital platforms play a particularly important role in this system by ensuring the integration of the educational process, corporate training, and analytical management mechanisms. As a result, a modern human capital development system is formed, aimed at developing digital competencies, innovative thinking, and practical skills.

Conclusion and Recommendations. The conducted study demonstrated that digitalization significantly transforms the system of interaction between business and education, creating new requirements for personnel training and the development of digital competencies. It was established that the Chinese business education model is characterized by a high level of integration between universities and the corporate sector, active use of LMS, ERP, CRM, Big Data, and AI technologies, as well as practice-oriented learning.

The study included an analysis of scientific literature, a comparative study of business education models in China and Kazakhstan, and a case analysis of CEIBS, Fudan University, and Antai College. The comparative analysis was conducted according to the criteria of the level of digitalization, the use of digital platforms, the degree of university–business integration, the development of corporate training, and the application of AI and Big Data technologies.

The results of the study showed that Kazakhstan still faces problems related to insufficient integration between business and universities, limited use of digital technologies, and inadequate development of practical competencies. As practical recommendations, the study proposes the development of university–business partnerships, the implementation of corporate training programs, and the expansion of digital platforms in the educational environment.

References

1. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum. https://www.researchgate.net/publication/329158552_Schwab_Klaus_The_Fourth_Industrial_Revolution_Ginebra_World_Economic_Forum_2016_172_pp

2. Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). *The dynamics of innovation: From National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations*. *Research Policy*, 29(2), 109–123. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)000554 https://www.researchgate.net/publication/222547985_The_Dynamics_of_Innovation_From_National_Systems_and_Mode_2_to_a_Triple_Helix_of_University-Industry-Government_Relations

3. Cai, Y., & Etzkowitz, H. (2021). *Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future*. *Triple Helix*, 7(2–3), 189–226. https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003 https://www.researchgate.net/publication/342589887_Theorizing_the_Triple_Helix_model_Past_present_and_future

4. Huang, R., Liu, D., Tlili, A., Yang, J., & Wang, H. (2020). *Handbook on Facilitating Flexible Learning During Educational Disruption*. Smart Learning Institute of Beijing Normal University. https://iite.unesco.org/wp-content/uploads/2020/03/Handbook-on-Facilitating-Flexible-Learning-in-COVID-19-Outbreak-SLIBNU_V2.0_20200324.pdf

5. Li, X., Zhang, Y., & Chen, L. (2021). *Digital transformation in Chinese business education*. *International Journal of Educational Development*, 85, 102441. https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2021.102441 https://www.researchgate.net/publication/398209872_Digital_Transformation_in_Chinese_Higher_Education_Leadership_and_Governance_Perspectives

6. Zarubina, V., Zarubin, M., Yessenkulova, Z., Salimbayeva, R., & Satbaeva, G. (2024). *Digital transformation of the promotion of educational services of*

Kazakhstani universities. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(1), 1–20. https://doi.org/10.1186/s13731-023-00355-3 https://www.econstor.eu/bitstream/10419/290337/1/1884203175.pdf

7. Maidirova, A.B. (2020). *Digitalization of education as part of economic modernization in Kazakhstan*. https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsii-obrazovaniya-kak-chast-modernizatsii-ekonomiki-v-kazahstane https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsii-obrazovaniya-kak-chast-modernizatsii-ekonomiki-v-kazahstane/viewer

8. Nakhbayeva, G., Nurtazina, R., & Kaidarova, A. (2025). *Digital transformation of universities in Kazakhstan: results of in-depth interviews with experts*. Vol. 103, No. 1. https://doi.org/10.48010/aa.v103i1.724 https://adamalemijournal.com/index.php/aa/article/view/724

9. Alibekova, G., & Bapiyeva, M. (2019). *Digitalization processes and their impact on the development of the Republic of Kazakhstan*. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 4(380), 217–225. https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.113

10. China Europe International Business School (CEIBS). https://www.ceibs.edu/

11. Fudan University School of Management. https://www.fdsm.fudan.edu.cn/en/

12. Shanghai Jiao Tong University – Antai College of Economics and Management. https://www.acem.sjtu.edu.cn/en/

IMPROVING STRATEGIC PLANNING AND CORPORATE GOVERNANCE

Iminova N.
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmi,
Republic of Uzbekistan
https://orcid.org/0000-0002-0316-9827
DOI: 10.5281/zenodo.20456121

Abstract
The article analyzes the theoretical foundations of improving strategic planning and corporate governance systems, international experience, and their mutual integration. It also examines scientific approaches and practical mechanisms aimed at enhancing the effectiveness of modern corporate governance. As a result of the study, it is substantiated that the harmony between strategic planning and corporate governance is a key factor in increasing the competitiveness of organizations.
Keywords: strategic planning, corporate governance, efficiency, competitiveness, institutional approach, stakeholders.

Introduction

In the conditions of the modern economy, the activities of enterprises are determined by a complex and constantly changing external environment. Global competition, digital transformation, and the volatility of investment flows require a reconsideration of strategic management systems. Strategic planning is the process of defining an organization's long-term goals and developing ways to achieve them, while corporate governance is considered an institutional mechanism regulating relations among stakeholders.

At present, the efficiency of enterprises in the global economy is directly connected with the quality of strategic management and corporate governance systems. Under conditions of digital transformation, increasing market competition, and the growing complexity of the investment environment, improving strategic planning systems has become an objective necessity.

In the Republic of Uzbekistan, the development of corporate governance and strategic planning systems is also regarded as one of the priority directions of state policy. In particular, the "Development Strategy of the Republic of Uzbekistan until 2030" outlines tasks related to the modernization of the economy, transformation of state-owned enterprises, and implementation of modern standards of corporate governance[1];

The Law "On Joint-Stock Companies and Protection of Shareholders' Rights" establishes the principles of transparency, accountability, and responsibility in corporate governance[2];

The Presidential Decrees on the reform of state-owned enterprises for 2021–2026 set the tasks of introducing strategic management, establishing KPI systems, and aligning corporate governance with OECD standards[3];

The "Corporate Governance Code" defines that the activities of the Board of Directors, the risk management system, and internal audit should be organized in accordance with international standards[4]. In addition, special attention is being paid to the implementation of international principles of corporate governance in order to improve the investment climate and increase the share of the private sector in the country. Under these conditions, the scientific analysis of the interrelationship between strategic planning and corporate governance, as well as enhancing the competitiveness of enterprises through their integration, is considered an important and relevant task.

Theoretical aspects of research.

In the scientific literature, various approaches have been developed regarding strategic planning and corporate governance. The views of different authors interpret the essence, role, and place of these two concepts in organizational activities in different ways.

H. Igor Ansoff views strategic planning as a tool for adapting enterprises to the external environment and defining directions for growth. According to him, strategy is formed based on market opportunities and product diversification[5]. Michael Porter interprets strategy as a mechanism for creating competitive advantage. He links a firm's success to the competitive forces within an industry and emphasizes that an effective strategy can be achieved through cost leadership or differentiation[6]. Michael Jensen, in his modern research, revisits agency theory and emphasizes that a focus on short-term profits in corporate governance may reduce a company's value. He highlights the need to

[1] Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On the Strategy 'Uzbekistan - 2030'" dated September 11, 2023, No. UP-158. (Lex UZ - "Uzbekistan - 2030" Strategy).
[2] Corporate Governance Code of the Republic of Uzbekistan, approved by the minutes of the meeting of the Commission on improving the efficiency of joint-stock companies and enhancing the corporate governance system dated December 31, 2015, No. 9.
[3] G20/OECD Principles of Corporate Governance, adopted by the Organization for Economic Co-operation and Development in 2023 (OECD Principles of Corporate Governance).
[4] Corporate Governance Code of the Republic of Uzbekistan, approved by the minutes of the meeting of the Commission on improving the efficiency of joint-stock companies and enhancing the corporate governance system dated December 31, 2015, No. 9.
[5] H. I Ansoff. Corporate Strategy. McGraw-Hill. 1965, https://archive.org/details/corporatestrateg0000anso
[6] M. E. Porter Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. Free Press, 1980.

strengthen long-term value-based management models[7].

Authors Joseph Bower and Lynn Paine (Harvard Business School) argue that corporate governance should shift from a "compliance-based model" to a "purpose-driven governance" model. According to them, companies should be accountable not only to shareholders but also to society at large[8]. Colin Mayer emphasizes that the main purpose of corporate governance is not "profit maximization," but "creating long-term value for society." He argues that the social mission of companies should be at the center of strategic planning[9].

Lucian Bebchuk advocates for strengthening shareholder control in corporate governance. He emphasizes that the compensation system should be reformed in order to reduce conflicts between managers and shareholders[10]. Robert Kaplan emphasizes the need to integrate the Balanced Scorecard system with ESG (Environmental, Social, and Governance) indicators. In his view, strategy should no longer be focused solely on financial performance, but should also be oriented toward sustainability[11]. David Norton emphasizes that digital monitoring and real-time KPI systems are crucial for strategy implementation. He notes that strategic planning has become a dynamic process[12]. Klaus Schwab, in the context of the "Fourth Industrial Revolution," emphasizes that corporate governance must be restructured based on digital technologies, artificial intelligence, and data-driven decision-making[13]. Mariana Mazzucato argues that the strategies of governments and companies should be built on "mission-oriented innovation." In other words, she emphasizes that strategy should be directed toward clearly defined missions for society[14].

John Elkington emphasizes the need to integrate sustainable development into strategic planning through the "People–Planet–Profit" model[15].

The analysis of both modern and classical scientific approaches shows that strategic planning and corporate governance systems have undergone significant evolution over time and are shifting from a traditional financial approach toward a multidimensional and integrated model.

Foreign experience of the research.

In global practice, issues of strategic planning and improvement of corporate governance are considered key factors in ensuring sustainable enterprise development, enhancing competitiveness, and increasing investment attractiveness. In the current conditions of globalization, digital transformation, and intensifying market competition, leading countries of the world have accumulated significant experience in building effective systems of strategic management and corporate regulation[16].

Michael Porter's research occupies an important place in the development of strategic management theory. The scholar developed the concept of competitive advantage and the "Five Forces" framework, which enables enterprises to analyze industry structure and formulate effective development strategies. According to his approach, strategic planning should be aimed at achieving sustainable competitive advantages and long-term business performance[17].

A significant contribution to the development of strategic management was made by Peter Drucker, who viewed strategic management as the process of defining an organization's long-term goals and the rational allocation of resources. According to the scholar, the effectiveness of corporate governance directly depends on the quality of strategic planning and the organization's ability to adapt to changes in the external environment. In countries such as the United States, Germany, Japan, and the United Kingdom, special attention is paid to ensuring management transparency, protecting shareholders' rights, and strengthening the accountability of boards of directors. The European model of corporate governance is focused on balancing the interests of all stakeholders, including investors, employees, and society.

In international practice, the OECD Principles of Corporate Governance play an important role and are recognized as a global standard of effective corporate governance. These principles provide for the protection of shareholders' rights, transparency of corporate activities, disclosure of information, increased accountability of governing bodies, and sustainable business development[18].

Modern research shows that digitalization has a significant impact on strategic planning and corporate governance. International companies are actively implementing Big Data technologies, artificial intelligence, ERP and CRM systems, which contribute to improving the quality of managerial decision-making and the effectiveness of corporate control[19].

Overall, international experience shows that effective strategic planning and a modern corporate governance system are essential conditions for ensuring sustainable economic growth of enterprises, increasing their competitiveness, and enabling successful adaptation to the conditions of the digital economy.

Analysis and results of the research.

[7] P. Bolton, Jensen and Meckling at 50: Corporate Governance Revisited. Journal of Financial Economics, 2025.

[8] J. Bower, & L. Paine The Error at the Heart of Corporate Leadership. Harvard Business Review, 2017.

[9] C. Mayer Prosperity: Better Business Makes the Greater Good. Oxford University Press, 2018.

[10] L. Bebchuk The Case for Increasing Shareholder Power. SSRN Paper, 2019.

[11] R. S. Kaplan Balanced Scorecard in the Age of ESG. Harvard Business Review, 2020.

[12] Norton & Kaplan, Balanced Scorecard (Harvard Business School) https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance.

[13] World Economic Forum – Fourth Industrial Revolution (https://www.weforum.org/publications/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/).

[14]UCL Institute for Innovation and Public Purpose https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/people/professor-mariana-mazzucato.

[15] https://www.johnelkington.com/archive/publications/.

[16] OECD Principles of Corporate Governance 2004.

[17] The Five Competitive Forces That Shape Strategy – Michael Porter.

[18] Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors.

[19] G20/OECD Principles of Corporate Governance 2023.

During the research, the interrelationship between strategic planning and corporate governance systems was analyzed from both theoretical and practical perspectives. Based on scientific sources and international experience, it was found that the efficiency of modern enterprises is directly linked to the quality of strategic management and the effectiveness of corporate governance mechanisms.

The analysis showed that in classical approaches, strategic planning was mainly focused on financial outcomes, whereas in modern concepts, greater emphasis is placed on sustainable development, ESG principles, stakeholder interests, and digital transformation. In particular, the views of scholars such as Michael Porter, Peter Drucker, Robert Kaplan, and Klaus Schwab demonstrate that strategic management has evolved toward an innovative and integrated model.

The analysis of international experience revealed that in countries such as the United States, Germany, Japan, and the United Kingdom, corporate governance systems have developed based on transparency, accountability, risk management, and the effectiveness of board of directors' activities. The OECD Principles of Corporate Governance are widely applied as an international standard in corporate management. Furthermore, the study found that digital technologies Big Data, artificial intelligence, ERP, and CRM systems significantly improve strategic planning processes. Modern enterprises increasingly use real-time KPI monitoring and data-driven management systems in strategic decision-making.

The analysis of Uzbekistan's experience shows that extensive reforms are being implemented to develop corporate governance systems in line with international standards, transform state-owned enterprises, and introduce modern strategic management mechanisms. In particular, the "Corporate Governance Code," OECD standards, and the Development Strategy until 2030 form the institutional basis of this process.

The research led to the following scientific and practical results:

Strategic planning and corporate governance systems, when integrated, ensure the long-term competitiveness of enterprises.

In modern corporate governance systems, not only financial performance but also social responsibility, environmental sustainability, and stakeholder interests are considered key factors.

It has been established that the OECD Principles of Corporate Governance contribute to increasing transparency, accountability, and investor confidence in enterprises.

The integration of Balanced Scorecard, ESG indicators, and KPI monitoring systems helps improve the effectiveness of strategic management.

Digital transformation has led strategic planning to become a dynamic model, enabling faster and more accurate managerial decision-making.

Reforms implemented in Uzbekistan to modernize the corporate governance system serve as an important institutional basis for forming a governance model aligned with international standards.

Conclusion.

In conclusion, improving strategic planning and corporate governance systems is an essential condition for the development of modern enterprises. Transformational processes occurring in the global economy require organizations to adopt flexible, innovative, and sustainable management systems.

The results of the study show that the integration of strategic planning and corporate governance significantly increases enterprises' economic efficiency, investment attractiveness, and competitiveness in international markets. At the same time, the integration of digital technologies into management systems is a key factor in improving the quality of strategic decisions and ensuring business sustainability.

In the future, it is advisable to further develop corporate governance systems by widely implementing ESG principles, artificial intelligence technologies, risk management tools, and governance mechanisms based on stakeholder interests.

References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan "On the Strategy 'Uzbekistan - 2030'" dated September 11, 2023, No. UP–158 (Lex UZ – "Uzbekistan – 2030" Strategy).

2. Corporate Governance Code of the Republic of Uzbekistan, approved by the minutes of the meeting of the Commission on improving the efficiency of joint-stock companies and corporate governance systems dated December 31, 2015, No. 9.

3. G20/OECD Principles of Corporate Governance, adopted by the Organization for Economic Cooperation and Development in 2023 (OECD Principles of Corporate Governance).

4. Ansoff, H. I. Corporate Strategy. McGraw-Hill. 1965, https://archive.org/details/corporatestrateg0000anso.

5. M.E. Porter Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. Free Press, 1980.

6. P. Bolton Jensen and Meckling at 50: Corporate Governance Revisited. Journal of Financial Economics, 2025.

7. J. Bower & L. Paine The Error at the Heart of Corporate Leadership. Harvard Business Review, 2017.

8. C.Mayer Prosperity: Better Business Makes the Greater Good. Oxford University Press, 2018.

9. L.Bebchuk The Case for Increasing Shareholder Power. SSRN Paper, 2019.

10. R.S. Kaplan Balanced Scorecard in the Age of ESG. Harvard Business Review, 2020.

11. Norton & Kaplan, Balanced Scorecard (Harvard Business School) https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance.

12. World Economic Forum – Fourth Industrial Revolution (https://www.weforum.org/publications/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/).

13. UCL Institute for Innovation and Public Purpose https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/people/professor-mariana-mazzucato.

14. https://www.johnelkington.com/archive/publications/.

15. OECD Principles of Corporate Governance 2004.

16. The Five Competitive Forces That Shape Strategy – Michael Porter.

17. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors.

18. G20/OECD Principles of Corporate Governance 2023.

HISTORICAL AND ARCHEOLOGICAL SCIENCES

ПРОПАГАНДИСТСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ОУН І УПА (1941–1944): СТРАТЕГІЯ, МЕХАНІЗМИ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ВИМІРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОЇ БОРОТЬБИ

Ходанович О.Л.,
кандидат історичних наук, доцент, старший викладач кафедри,
Національна академія Служби безпеки України (м. Київ, Україна)
https://orcid.org/0000-0002-4829-0997
Печенюк І.С.
кандидат історичних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри,
Національний університет оборони України (м. Київ, Україна)
https://orcid.org/0000-0001-5790-130X

PROPAGANDA ACTIVITIES OF THE OUN AND UPA (1941–1944): STRATEGY, MECHANISMS, AND REGIONAL DIMENSIONS OF INFORMATION-PSYCHOLOGICAL WARFARE

Khodanovych O.,
Candidate of Historical Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at the Academic Department
The National Academy of the Security Service of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
https://orcid.org/0000-0002-4829-0997
Pecheniuk I.
Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher,
Professor of the Academic Department
The National Defense University of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
https://orcid.org/0000-0001-5790-130X
DOI: 10.5281/zenodo.20456160

Анотація

У статті *досліджено* комплексний характер, стратегічні цілі та інструментарій пропагандистської діяльності Організації українських націоналістів (ОУН) та Української повстанської армії (УПА) у 1941–1944 рр. та в повоєнний період. *Встановлено*, що інформаційно-психологічна боротьба була невід'ємною складовою національно-визвольної боротьби, спрямованою на відновлення державної незалежності України в умовах подвійної окупації. *Проаналізовано* організаційну структуру пропагандистського апарату, зокрема діяльність референтур пропаганди, Української пресової служби та радіостанції «Вільна Україна». Особливу увагу приділено формам і методам впливу: від друкованого слова (листівок, газет, журналів) до «збройної пропаганди» у формі масштабних рейдів на терени центральної, південної та східної України. *Доведено* багатовекторність пропаганди підпілля, яка була адаптована до різних цільових аудиторій: цивільне населення, військовослужбовців Червоної армії та Вермахту, а також на представників інших поневолених народів СРСР. Ефективність цієї стратегії підтверджується формуванням інтернаціональних відділів у складі УПА та успішною дипломатією з військами союзників Німеччини. *Висвітлено* трансформацію пропагандистських гасел після 1941 р. у зв'язку з переходом до концепції «боротьби на два фронти». *Обґрунтовано*, що історичний досвід психологічної боротьби, яку вели ОУН і УПА, залишається фундаментальним для розбудови сучасної системи інформаційної безпеки України.

Abstract

The article explores the complex nature, strategic goals, and tools of the propaganda activities conducted by the Organization of Ukrainian Nationalists (OUN) and the Ukrainian Insurgent Army (UPA) during 1941–1944 and in the post-war period. It is established that information-psychological warfare was an integral component of the national liberation struggle aimed at restoring Ukraine's state independence under the conditions of double occupation. The organizational structure of the propaganda apparatus is analyzed, specifically the activities of propaganda referenturas, the Ukrainian Press Service, and the "Vilna Ukraina" (Free Ukraine) radio station. Special attention is paid to the forms and methods of influence: from the printed media (leaflets, newspapers, journals) to "armed propaganda" in the form of extensive raids into the territories of Central, Southern, and Eastern Ukraine. The study demonstrates the multi-vector nature of the underground propaganda, which was adapted for diverse target audiences, including the civilian population, servicemen of the Red Army and the Wehrmacht, as well as representatives of other subjugated peoples of the USSR. The effectiveness of this strategy is evidenced by the formation of international units within the UPA and successful diplomacy with the troops of Germany's allies. The transformation of propaganda slogans after 1941 in connection with the transition to the concept of "struggle on two fronts" is highlighted. It is substantiated that the historical experience of the psychological struggle waged by the OUN and UPA remains fundamental for the development of Ukraine's modern information security system.

Ключові слова: Організація українських націоналістів, Українська повстанська армія, інформаційно-психологічна боротьба, «збройна пропаганда», пропагандистські структури, визвольний рух, націоналістичне підпілля, психологічна операція.

Keywords: Organization of Ukrainian Nationalists, Ukrainian Insurgent Army, information-psychological struggle, "armed propaganda", propaganda structures, liberation movement, nationalist underground, psychological operation.

Постановка проблеми. Початок німецько-радянської війни у червні 1941 р. став відправною точкою для українського національного визвольного руху. Геополітичний хаос і зіткнення двох тоталітарних імперій відкрили перед Організацією українських націоналістів (ОУН) стратегічні можливості для відновлення державної незалежності. У цій складній обстановці ОУН, а згодом й Українська повстанська армія (УПА) обрали шлях безкомпромісної боротьби, в якій інформаційно-психологічна складова стала не менш значущою, ніж збройне протистояння.

Особливого значення цей процес набув у 1941–1944 рр., коли слідом за лінією фронту на територію центральної, південної та східної України вирушили похідні групи ОУН. Їхня місія виходила за межі суто військових завдань і полягала у просуванні національної ідеї на теренах, які десятиліттями перебували під тиском радянської ідеологічної обробки. Створення розгалуженої адміністративної та політичної структури націоналістичного підпілля в умовах жорсткого окупаційного режиму Третього Райху було формою інтелектуального та організаційного спротиву «новому порядку».

Наукове завдання полягає у необхідності комплексного аналізу пропагандистського інструментарію ОУН і УПА як цілісної системи, що забезпечувала життєздатність руху в умовах подвійної окупації. Попри наявність значного масиву праць, тривалий час поза увагою дослідників залишалася регіональна специфіка цієї діяльності. Сучасна історіографія потребує остаточної деконструкції радянських та неоімперських міфів про «локальність» і «чужорідність» націоналістичного підпілля для мешканців південних і східних регіонів України. Доведення загальноукраїнського масштабу діяльності ОУН є ключовим для розуміння соборності визвольної боротьби.

Актуальність теми підсилюється реаліями сучасної російсько-української війни, яка підтверджує тезу, що інформаційно-психологічна боротьба є фундаментальним елементом захисту національної безпеки. Оцінка історичних методів ОУН і УПА у роки Другої світової війни у протидії ворожій пропаганді, мобілізації цивільного населення та формування національної ідентичності в умовах інформаційної блокади є не лише основним завданням, а й практичним підґрунтям для розбудови сучасної стратегії інформаційної оборони України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання пропагандистської діяльності як основи інформаційно-психологічної боротьби ОУН і УПА у роки Другої світової війни перебуває у центрі уваги вітчизняної та зарубіжної історіографії. Для глибшого розуміння організації пропаганди, як частини «інформаційної війни» ОУН і УПА, нами здійснено тематичний аналіз історіографії, яку умовно розділено на п’ять основних груп.

До першої групи належать праці таких дослідників як О. Стасюк [25], А. Кентій [7], С. Мечник [11] та Г. Дем’ян [4], у їх працях пропаганда розглядається не як стихійне явище, а як чітка вертикаль. Вони аналізують ієрархію референтів пропаганди від Проводу ОУН до районних і станичних ланок, тобто організаційну структуру, механізми створення, видавничу базу пропаганди та розповсюдження інформації. Дослідник А. Кентій розглядав пропаганду як невід’ємну частину військово-адміністративної структури, описуючи функції референтів у межах організаційної ієрархії; С. Мечник акцентував увагу на ідеологічному вишколі кадрів, які безпосередньо займалися агітацією, розглядаючи це як фундамент організаційної стійкості; О. Стасюк комплексно проаналізувала технічну сторони пропаганди, приділивши особливу увагу функціонуванню підпільних друкарень, системі вишколу політвиховників, логістичних шляхів доставки і розповсюдження літератури та довела, що видавнича мережа була автономною та багаторівневою; Г. Дем’ян на прикладі постаті Івана Клима («Митаря») розкрив технічний аспект створення та функціонування повстанської радіостанції «Афродита».

Друга група включає праці таких авторів як І. Патриляк [19], П. Мірчук [13], О. Баган [1] та В. Деревінський [5], які досліджують трансформацію змісту пропаганди й аналізують, «що саме» і «як» говорило підпілля до народу в різні періоди війни. Автори аналізують концепцію «пропаганди чину» – коли самі бойові дії розглядалися як засіб агітації, що мав продемонструвати силу руху та неминучість відновлення державності. Сучасний дослідник І. Патриляк детально аналізує трансформацію пропаганди від суто націоналістичних гасел до широких антитоталітарних закликів (перехід до гасла «Воля народам! Воля людині!»), що дало змогу націоналістичному рухові набути загальноукраїнського масштабу; П. Мірчук та О. Баган фокусуються на ідеологічних витоках «чину», аналізуючи його вплив на формування бойового духу повстанців; В. Деревінський простежує посилення соціальних аспектів у риториці підпілля під впливом реалій східної України.

До третьої групи увійшли праці таких дослідників як В. Нікольський [16; 17], В. Семистяга [21], С. Горбуров [3], Н. Мизак [12], А. Міхненко та Г. Морокко [14] А. Скоробагатов [23], В. Друмов [6], Б. Чорномаз [38], В. Малюга [10] доводять гнучкість пропаганди з урахуванням особливостей і менталітету жителів кожного регіону України. Це найбільш динамічні дослідження, що руйнують міф про вузькорегіональний характер руху. Зокрема

специфіку методів агітації в промислових районах Донбасу та сходу аналізують В. Нікольський, А. Міхненко та Г. Морокко зробивши основний упор на антисталінські та соціальні гасла. Н. Мизак та Б. Чорномаз описали форми взаємодії підпілля з сільським населенням Поділля та Черкащина, а також роль «усної пропаганди» в регіонах центральної України. С. Горбуров висвітлив діяльність осередків у степовій Україні, зокрема на Півдні та Миколаївщині, підкреслюючи роль листівок у прориві інформаційної блокади в умовах німецької окупації. А. Скоробагатов акцентував увагу на використанні легальних засобів (преси, культури) для поширення національних ідей у великих містах Слобожанщини під час війни. Праця В. Малюги є важливою, тому що в ній системно розкрито специфіку антинімецької пропаганди саме серед населення окупованої України. В цілому, дослідники доводять, що на Донбасі чи Миколаївщині пропаганда була більш соціально-економічною та антитоталітарною, аніж суто ідеологічною, що давало можливість залучати до осередків підпілля місцевих робітників та інтелігенцію.

Четверта група включає праці таких авторів як Я. Стецько [26], Л. Шанковський [39; 40], В. Косик [8], І Муковський та О. Лисенко [15], М. Слободянюк [24], В. Романишин [20] та С. Ткаченко [27] досліджували пропаганду як різновид зброї та інструмент воєнної стратегії («психологічна війна»). Ефективність української пропаганди у протидії нацистській ідеології на основі німецьких документів показав В. Косик. Фундаментом для розуміння ідеології «боротьби на два фронти» та стратегічних цілей ОУН є праці Я. Стецька, Л. Шанковського та В. Романишина, в яких проаналізовано «дохідні групи» та рейди як стратегічні інформаційні операції з метою охоплення всієї України мережею підпілля. Зокрема Л. Шанковський аналізував пропаганду як засіб дезорієнтації ворога та підняття духу власних військ; В. Романишин розкрив мобілізаційну роль агітації на Волині, яка давала змогу в короткий термін перетворити партизанські загони на масове військо досліджував. С. Ткаченко розглядав тактику «збройної пропаганди» як засіб з мобілізації населення. Водночас М. Слободянюк додав до цього аналіз візуальної символіки пропаганди (однострої, нагороди, символіка) як інструменту зовнішньої пропаганди, яка працювала на престиж і легітимізацію УПА як регулярної армії в очах населення. А праця І. Муковського та О. Лисенка дає змогу порівняти ці зусилля із загальносвітовим контекстом Другої світової війни.

П’ята група включає праці таких авторів як В. Сергійчук [22], П. Брицький [2] та «Літопис УПА» (16-й том [9]), які аналізують протидію ОУН радянським і нацистським міфам, зробивши основний акцент на джерельній базі (документальне підтвердження) та протидії фальсифікаціям. В. Сергійчук через публікацію масивів першоджерел (наказів, звітів) продемонстрував реальні масштаби та результативність пропагандистських рейдів. П. Брицький проаналізував контрпропагандистські заходи ОУН, спрямовані на викриття провокацій радянських спецслужб і дискредитацію окупаційної політики. Ключовим джерелом у цій групі є 16-й том «Літопису УПА», в якому опубліковано безпосередні звіти, величезних масивів листівок і наказів про пропагандистські акції на Волині та Поліссі, дають змогу побачити «мову» повстанської пропаганди без пізніших інтерпретацій, як прямий діалог між підпіллям і народом.

Отже, систематизація праць зазначених авторів свідчить, що в сучасній історіографії пропаганда ОУН і УПА вивчається не просто як допоміжний елемент, а як самостійний і вирішальний фронт боротьби. Завдяки працям О. Стасюк, І. Патриляка, В. Малюги та регіональних дослідників маємо цілісну картину того, як українська визвольна боротьба вигравала «битву за розум» українців у надскладних умовах Другої світової війни.

Незважаючи на значну кількість праць, що свідчить про високий рівень зацікавленості темою, сучасна історіографія розглядає пропагандистську діяльність ОУН переважно крізь призму окремих подій або регіонів, без комплексного аналізу сутності процесу створення мережі та реальних масштабів її територіального охоплення. Тому окреслена проблематика потребує подальшої деталізації та систематизації, що й зумовило вибір теми цієї статті.

Мета статті полягає у комплексному аналізі змісту, форм та методів пропагандистської діяльності ОУН і УПА у 1941–1944 рр., з’ясуванні ролі інформаційно-психологічної боротьби у стратегії націоналістичного підпілля, а також висвітленні специфіки поширення визвольних ідей у центральних, південних та східних регіонах України.

Виклад основного матеріалу. У статті розкриваються ключові завдання, об’єкти, форми та методи пропагандистської діяльності ОУН і УПА в роки Другої світової війни. Актуальність вивчення зазначених аспектів зумовлена не лише історичним інтересом, а й сучасними безпековими викликами. Досвід українського підпілля є цінним для формування свідомого ставлення громадян до захисту держави, а також для розбудови стійкої системи інформаційного впливу на цивільне населення та особовий склад збройних сил у контексті сучасної гібридної агресії.

Стратегічний вектор діяльності ОУН був незмінно спрямований на реалізацію фундаментальної мети – відновлення та розбудову самостійної української держави [18, с.27; 26, с.207]. Виходячи з цього, інформаційно-пропагандистська діяльність організації базувалася на двох магістральних засадах:

екзистенційне поширення ідеї безкомпромісної боротьби за державну незалежність;

формування спільного антитоталітарного фронту поневолених народів, спрямованого проти обох окупаційних режимів – СРСР та нацистської Німеччини.

Доцільно наголосити, що засада «спільного фронту поневолених народів» була унікальною,

оскільки вона апелювала до грузинів, азербайджанців, узбеків та інших народів у лавах Червоної армії та Вермахту. Це перетворило пропаганду ОУН у міжнародний чинник.

Нормативно-ідеологічне підґрунтя цієї діяльності було закладено ще напередодні масштабного зіткнення імперій. Концептуальні засади пропаганди ОУН(б) у воєнний період були визначені у рішеннях Другого Великого збору УОН(б) (квітень 1941 р.) та деталізовані у травневих інструкціях 1941 р. під назвою «Боротьба й діяльність ОУН під час війни». У свою чергу, програмні орієнтири ОУН(м) знайшли відображення в «Інструкції на час подій». Саме ці інструкції стали дороговказом для учасників похідних груп, які стали живими носіями зазначених концептуальних положень на сході України. Аналіз цих документів дає підстави стверджувати, що *стратегічними цілями психологічного впливу* українських націоналістів були:

консолідація українського суспільства та досягнення морально-політичної єдності народу навколо ідеї державності;

системне послаблення морально-бойового духу особового складу збройних формувань противника шляхом розкладу ворожої армії зсередини [32, арк.40; 35, арк.25-33].

На нашу думку, у цьому аспекті ОУН фактично випереджала свій час, використовуючи методи, які сьогодні вважаються класикою психологічної війни.

Функціональна структура психологічної боротьби, яку розгорнули ОУН і УПА в роки війни, відзначалася багатовекторністю та чітким розмежуванням цілей залежно від об'єкта впливу. До *пріоритетних завдань стратегічного рівня* належали:

консолідація нації: формування стійкого ідеологічного фундаменту серед українського населення навколо ідей державницького руху;

інформаційний захист: активна нейтралізація ворожих ідеологічних впливів через механізми контрпропаганди;

зовнішньополітичне позиціонування: забезпечення легітимізації та визнання українського визвольного руху світовою спільнотою, насамперед країнами Заходу (США, Великою Британією, Францією);

міжнаціональна солідарність: спонукання представників інших народів СРСР та Польщі до спільного опору тоталітарним системам (політиці влади);

деструкція ворожих режимів: системний підрив довіри та дискредитація окупаційної політики керівництва Польщі, Третього Райху та СРСР;

дезорганізація ворожих сил: вплив на моральну стійкість військовослужбовців і державне керівництво противника;

деморалізація апарату управління: здійснення психологічного тиску на військове командування і апарат державного управління противника.

У найближчій тактичній перспективі психологічний вплив спрямовувався на вирішення актуальних завдань «поля бою»:

позбавлення окупаційних режимів підтримки з боку місцевого населення та водночас залучення цієї підтримки на бік підпілля;

запобігання примусовим депортаціям українського населення та мобілізаційним заходам ворога;

стимулювання розкладу ворожих військ: відмова вояків противника від участі в бойових діях, підбурювання до непокори та дезертирства, здачі в полон або переходу на бік повстанців (зокрема через апеляцію до національних почуттів вояків-українців).

Еволюцію *психологічної боротьби* ОУН і УПА можна розділити на два ключові етапи:

перший (1939–1944 рр.): охоплює період першої радянської окупації Західної України та час німецького панування. Цей етап характеризувався інтенсивною інституційною розбудовою: створенням спеціалізованих структур, відпрацюванням методів підпільної агітації та адаптацією апарату до умов глибокої конспірації. Завдяки діяльності похідних груп географія впливу вийшла за межі Західної України, охопивши центральні та східні регіони;

другий (1944 р. – початок 1950-х рр.): тривале протистояння відновленому радянському режиму. Психологічна боротьба набула характеру тотального інформаційного спротиву. Завершення активної фази було зумовлене вичерпанням ресурсів та фізичною ліквідацією мережі підпілля.

Попри припинення організованого спротиву наприкінці другого етапу, ідеологічні напрацювання цього періоду стали фундаментом для українського дисидентського руху 1960–1980-х років.

Ефективність інформаційно-пропагандистського впливу ОУН і УПА забезпечувалася чітким визначенням *об'єктів впливу*: збройні сили противника (регулярні частини, партизанські загони, формування самооборони), цивільне населення України та мешканці суміжних держав. Цей вплив реалізовувався через масштабні політичні акції та окремі разові заходи. Політичні акції того періоду за своєю структурою, цілями, термінами проведення та комплексністю інструментарію (об'єктами, формами і способами впливу) максимально наближені до сучасного оперативного поняття «*психологічна операція*» (PsyOp). Разові заходи, у своєю чергу, були спрямовані на дезорієнтацію та зниження боєздатності конкретних підрозділів противника.

За тривалістю та стратегічним охопленням психологічні операції українського підпілля доцільно поділити на два види [27, с.218]:

довгострокові: мали стратегічний політичний характер і були спрямовані на системне утвердження ідеї української суверенної державності в масовій свідомості;

короткострокові: носили тактичний характер і фокусувалися переважно на швидкій реакції населення або військовослужбовців противника на поточні події (саботаж мобілізації, заклики до здачі в полон тощо).

Реалізація цієї концепції покладалася на розгалужену *мережу пропагандистських структур* (референтури та відділи пропаганди на всіх рівнях), що функціонували паралельно в політичному підпіллі (ОУН) та військових формуваннях (УПА). Зауважимо, що саме така «дублююча» система забезпечувала неймовірну живучість: навіть у разі розгрому військового штабу, політична референтура продовжувала працювати з населенням, і навпаки.

Апарат ОУН (територіальна мережа)**:** охоплював всі рівні – від Головного проводу до найменшої низової ланки. Керівництво здійснював *Головний осередок (референтура) пропаганди*, підпорядкований Головному проводу, який очолював головний референт. Аналогічні референтури діяли на крайовому, обласному, окружному та повітовому рівнях, а безпосередня робота з масами здійснювалася пропагандистами у станицях.

Апарат УПА (військова мережа)**:** формування пропагандистських органів у війську відбувалося паралельно з розбудовою бойових одиниць (військових загонів). При штабах генеральних військових округ, військових округ та територіальних відтинків функціонували спеціалізовані *відділи пропаганди*. До основних компетенцій відділів пропаганди належали:

моніторинг морально-психологічного стану своїх підрозділів і цивільного населення;

аналіз настроїв у військах противника;

інститут *політвиховників*: безпосередня виховна робота у бойових підрозділах.

Окрему роль відігравав інститут політвиховників, який здійснював роботу безпосередньо у бойових підрозділах. Варто зауважити, що роль політвиховника в УПА кардинально відрізнялася від радянського комісара – він мав бути не каральним органом, а насамперед інтелектуальним лідером і моральним авторитетом.

Загальну координацію та стратегічне планування здійснював *Головний осередок пропаганди при Головному військовому штабі* (ГВШ) УПА. Саме він був інтелектуальним центром, який розробляв плани операцій (акцій) та координував взаємодію між територіальними підрозділами на інформаційно-психологічному фронті.

Ефективність психологічного впливу ОУН і УПА значною мірою залежала від оперативності та якості підготовки агітаційних матеріалів. Пропагандистські підрозділи здійснювали постійний моніторинг ситуації в районах діяльності ворога, приділяючи особливу увага частинам Вермахту та Червоної армії з низьким рівнем стійкості. Саме такі дезорганізовані частини і підрозділи були пріоритетними об’єктами цілеспрямованого впливу [35, арк.251].

Основним інструментарієм агітаційно-пропагандистської діяльності було *друковане слово* (видання). Провідне місце в ідеологічному наступі належало листівкам, як найбільш мобільному засобу комунікації, а також газетам, часописам (журналам) та брошурам. Виготовленням пропагандистської літератури займалася розгалужена мережа підпільних редакцій і типографій, що діяли при відповідних проводах ОУН та штабах УПА. Унікальною особливістю видавничої політики підпілля була її *багатомовність та етнопсихологічна адаптація*. Матеріали видавалися не лише українською, а й англійською, вірменською, грузинською, польською, російською та іншими мовами.

Важливо підкреслити, що до розроблення текстів залучалися представники відповідних етнічних груп. Це давало змогу враховувати ментальну специфіку цільової аудиторії та підвищувати довіру до змісту звернень. На східноукраїнських землях пропаганду часто адаптували під місцеву соціокультурну специфіку, акцентуючи на соціальній справедливості та антиколгоспній агітації, що значно розширювало базу підтримки руху.

Система розповсюдження літератури включала як традиційні, так і інноваційні підходи:

використання розгалуженої мережі кур’єрів (зв’язкових), розклеювання та підкидання матеріалів у місцях скупчення населення або дислокації військ [8, с.378]. Загалом у 1941–1944 рр. зусиллями підпілля було налагоджено випуск близько 90 найменувань періодичних видань [22, с.57; 39, с.47];

у 1941–1942 рр. практикувалося використання замаскованої пропаганди через офіційну окупаційну пресу (часописи), в редакціях якої працювали члени підпілля ОУН і УПА.

Організація українських націоналістів використовувала державну пошту для надсилання ідеологічних матеріалів представникам західної політичної еліти та інтелігенції [9, с.19]. Використання пошти та офіційної преси можна назвати «легалізаційними методами пропаганди», що підкреслює гнучкість підпілля: вони не лише ховалися в лісах, а й використовували інфраструктуру та ресурси ворога проти нього самого.

Міжнародний вектор пропаганди забезпечувався через діяльність кількох зв’язкових пунктів, зокрема у Польщі та цільове інформування дипмісій США, Великої Британії, Франції, Бельгії та інших держав, що знаходилися у Варшаві. Інформаційні пакети (літературу) для іноземних посольств готувалися англійською та французькою мовами (часто дублювалися українською, польською, чеською і словацькою). Це свідчить про високий інтелектуальний рівень апарату та чітке розуміння необхідності прориву міжнародної інформаційної ізоляції [28, с.70-71].

Поряд із тиражуванням друкованого слова, критичне місце в арсеналі визвольного руху посідала *усна пропаганда*. Її специфіка полягала у безпосередньому емоційному та інтелектуальному контакті з населенням чи військовослужбовцями противника. Ця форма роботи вважалася однією з найскладніших, оскільки вимагала від пропагандистів високої психологічної підготовки, вміння враховувати соціальні, національні та релігійні особливості аудиторії, а також оперативно реагувати на контраргументи ворожої агітації.

Серед ключових методів усного впливу виділялися:

індивідуальні та групові бесіди, проведення таємних зборів;

«шептана пропаганда» – цілеспрямоване поширення поголосок і чуток для деморалізації противника та формування необхідних настроїв в умовах жорсткого інформаційного контролю;

активне використання мережі відновленого товариства «Просвіта»: філії товариства, інтегровані в територіальну структуру ОУН, ставали легальними або напівлегальними центрами національного виховання та культурної мобілізації [30, арк.21]. Варто зауважити, що на сході та півдні України в 1941–1942 рр. «Просвіта» часто слугувала «парасольковою структурою» для похідних груп ОУН, даючи змогу поширювати державницькі ідеї в маси через легальні культурні заходи.

Важливою складовою діяльності була *інформаційно-аналітична робота*. Пропагандисти не лише транслювали ідеї, а й здійснювали глибокий моніторинг середовища. Регулярні інформаційні звіти про економічний, політичний та соціальний стан регіонів давали змогу керівництву ОУН коригувати стратегію боротьби та адаптувати гасла до актуальних запитів суспільства [17, с.51]. Така прискіплива увага до соціально-економічних показників свідчить про державницьке мислення лідерів руху: вони готувалися до системного управління територіями, а не лише вести партизанські дії.

Стратегія щодо Червоної армії базувалася на розумінні того, що стійкість радянської системи та міць СРСР тримається на її військовій силі. Організація українських націоналістів застосовувала гнучку багаторівневу тактику впливу на червоноармійців:

напередодні війни: стимулювання українців до вступу в лави Червоної армії з метою опанування зброєю та набуття бойового досвіду для подальшого використання у повстанській боротьбі;

на початку війни (1941 р.): ініціювання заворушень всередині частин, заклики до здачі у німецький полон, щоб уникнути марної загибелі за сталінський режим [35, арк.5-6]. Зазначимо, що після 1942 р., коли нацистська політика щодо полонених стала очевидною, пропаганда змістила акцент: замість полону червоноармійців закликали переходити безпосередньо до лав УПА («йти в ліс»);

міжнаціональний аспект: активна агітація представників інших поневолених народів СРСР, які служили в Червоній армії. Пропагандисти закликали їх не лише переходити на бік повстанців, а й формувати власні національні легіони для спільної визвольної боротьби [35, арк.12, 21].

Друга половина 1941 р. стала періодом докорінної трансформації змісту пропаганди ОУН. Відмова нацистського керівництва визнавати Акт відновлення української державності від 30 червня 1941 р. та початок масових репресій проти українських націоналістів змусили організацію переглянути свої стратегічні орієнтири [10, арк.51]. Рішення першої конференції ОУН (вересень 1941 р.) офіційно закріпили статус Німеччини як ворога, аналогічного СРСР щодо самовизначення української нації [35, арк.10]. Остаточне ж формулювання нової концепції «боротьби на два фронти» було закріплено у постановах другої конференції ОУН (квітень 1942 р.). У них наголошувалося, що «пропаганда має вестися одночасно проти усіх окупантів України» [18, с.3; 31, арк.2]. Варто підкреслити, що ця стратегія зробила пропаганду ОУН унікальною, оскільки вона одночасно використовувала антинацистські аргументи проти Гітлера та антибільшовицькі проти Сталіна, часто поєднуючи їх у межах однієї листівки.

У цей період особливого значення набула агітація серед «*національних легіонів*», сформованих німецьким командуванням із радянських військовополонених (вихідців із народів Кавказу, Середньої Азії, Поволжя). Організація українських націоналістів закликала їх відмовлятися від служби в інтересах Третього Райху (в нацистських національних формуваннях); приєднуватися до українського підпілля для створення національних відділів (загонів) при УПА та розгортати спільну боротьбу за незалежність своїх націй під гаслом «Воля народам! Воля людині!» [18, с.104].

Паралельно розгорталися й інші напрямки, зокрема *антиокупаційна пропаганда економічного характеру*, спрямована на саботаж розпоряджень німецької адміністрації: заклики до зриву хлібозаготівель, відмови від виїзду на примусові роботи до Німеччини (остарбайтерство) та припинення будь-якої співпраці з окупаційною адміністрацією. Окремим напрямком була робота з військами союзників Німеччини – угорцями, словаками та румунами [15, с.32]. Агітація серед угорців та румунів стала прикладом тонкої дипломатії підпілля, що часто призводило до дотримання нейтралітету щодо українського національно-визвольного руху та допомоги повстанцям або негласних пактів про ненапад, що було надзвичайним успіхом психологічної боротьби.

Специфічною та найбільш активною формою інформаційно-бойового впливу стали *рейди підрозділів УПА*. Рейди являли собою стрімкі марші відділів УПА теренами, що не були охоплені сталим націоналістичним підпіллям. Ці акції були формою «збройної пропаганди», в якій сам вигляд дисциплінованого українського війська діяв сильніше за будь-які слова, підтверджуючи «загальноукраїнський масштаб» боротьби, мав комплексний пропагандивно-бойовий характер і вирішував низку завдань [22, с.184]:

прорив інформаційної блокади: походи на землі центральної, східної та південної України як під час німецької окупації, так і після повернення радянської влади для роз'яснення мети визвольної боротьби та створення бази для місцевих осередків;

міжнародна демонстрація сили: походи за межі українських етнічних територій (у Польщу, Словаччину, Румунію) для популяризації національного спротиву та визвольної боротьби загалом;

культурно-психологічний вплив: використання усної та друкованої пропаганди для консолідації місцевого населення навколо антикомуністичних ідей.

Важливим кроком на шляху до професіоналізації інформаційної боротьби стало створення при УПА *Української пресової служби* (УПС). Ця інституція мала свої осередки (станції) у кожній структурній одиниці війська. На УПС покладалася комплексна відповідальність, що охоплювала не лише поточну пропаганду, а й мемуаристичну та архівну функції. Це свідчило про стратегічне прагнення підпілля зафіксувати власну історію для наступних поколінь, забезпечуючи тяглість державницької ідеї [34, арк.5-6].

Новим технологічним етапом стало використання *радіопропаганди*. З осені 1943 р. у Карпатах діяла підпільна радіостанція «Вільна Україна» (відома під назвою «Афродита»). Варто додати, що передачі велися кількома мовами, що вкотре підкреслює її орієнтацію на міжнародну аудиторію та «червоноармійців-неукраїнців». Радіо дало змогу оперативно доносити правду про події в Україні та державницькі ідеї визвольного руху до зовнішнього світу, долаючи інформаційну блокаду [4, с.107].

Із поверненням радянської влади на українські терени пропагандистська діяльність ОУН і УПА у 1944 р. зазнала певних корективів, попри потужну систему радянської контрпропаганди та посилення терору. Сталість методів агітації на цьому етапі (подібно до 1941 р.) продовжувала фокусуватися на впливі на червоноармійців, радянську адміністрацію, українське населення та нацменшини [36, арк.91], що свідчить про непохитність стратегічних цілей ОУН незалежно від зміни окупаційного режиму. Організація українських націоналістів закликала червоноармійців «не виступати проти визвольних рухів поневолених народів», а серед цивільного населення та нацменшин акцент зміщувався на викриття демократичних вад і репресивної сутності радянської системи [35, арк.158; 39, с.118].

Ефективність інформаційно-психологічної боротьби ОУН і УПА підтверджується конкретними історичними фактами, які виводять рух на рівень суб'єкта міжнародної політики:

інтернаціоналізація спротиву: успішна агітація призвела до створення в лавах УПА з представників багатьох національностей 15 національних загонів загальною чисельністю до 20 тисяч осіб [13, с.48];

дипломатичний прорив: під впливом пропаганди та визнання реальної сили УПА угорське командування уклало з повстанцями договір про нейтралітет. Цей факт, а також переговори з румунською стороною (попри територіальні суперечки щодо Буковини), справа до підписання угоди не дійшла, є найвищим проявом ефективності «психологічної операції» [39, с.54]. Це доводить, що УПА сприймалася іншими державами не як партизанські загони, а як повноцінний військово-політичний суб'єкт.

Протягом 1942–1943 рр. у діяльності пропагандистських структур ОУН і УПА викристалізувався ще один специфічний напрям – *польський*. Його поява була зумовлена загостренням історичних суперечностей (ще з 1930-х рр., а особливо у роки війни) та прагненням польських військово-політичних кіл відновити контроль над західноукраїнськими землями («східними кресами») з допомогою збройної сили. Пропаганда в цьому секторі мала на меті не лише ідеологічне протистояння, а й спробу деескалації конфлікту через роз'яснення української державницької позиції та заклики до створення «спільного фронту» проти нацизму й більшовизму, хоча реалізація цих завдань відбувалася в умовах надзвичайно гострої міжетнічної напруги.

Після завершення Другої світової війни географія інформаційно-психологічного впливу українського підпілля суттєво розширилася. Крім роботи з народами СРСР, *антикомуністична діяльність* розгорнулася *в країнах новоствореного «соціалістичного табору»* – серед чехів, словаків, румунів та поляків, які опинилися в орбіті радянського впливу. Ключовим посилом агітації на цьому етапі стала ідея *міжнародної солідарності* поневолених народів у спільній боротьбі проти тоталітарної системи. Використовуючи досвід рейдів та підпільної преси, українські націоналісти прагнули сформувати єдиний інформаційний простір спротиву та підривати монополію комуністичної ідеології в Центрально-Східній Європі.

Зазначені аспекти трансформації методів психологічної боротьби в повоєнний період та адаптація підпілля до нових геополітичних реалій залишаються перспективними напрямами для подальших наукових досліджень.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що пропагандистська діяльність була фундаментом психологічних операцій ОУН і УПА. Завдяки розгалуженій структурі підпілля здійснювало системний інформаційно-психологічний вплив на широкий загал, зокрема членів організації, місцеве населення, осіб різних національностей, військовослужбовців армій противника та цивільне населення іноземних держав. Паралельно з цим велася безперервна контрпропагандистська боротьба, спрямована на нейтралізацію ідеологічного тиску з боку обох окупаційних режимів.

Узагальнюючи результати аналізу, можна виділити такі ключові аспекти:

1) психологічна боротьба українського підпілля у 1941–1944 рр. і в наступні роки не була хаотичною реакцією на події, а являла собою чітку систему. Створення спеціалізованих референтур, Української пресової служби та радіостанції «Вільна Україна» свідчить про високий ступінь професіоналізації інформаційного фронту підпілля, тобто ведення «війни за розум»;

2) завдяки стратегії похідних груп і бойовим рейдам УПА ідеї визвольного руху вийшли за межі західноукраїнського регіону, поширившись на східні та південні регіони України, а також за її кордони. Активна агітація серед «національних легіонів» і представників інших народів СРСР перетворила ОУН на ініціатора створення інтернаціонального антитоталітарного фронту;

3) гнучке поєднання легальних форм впливу (від легальної окупаційної преси та мережі товариства «Просвіта») та підпільних методів («шептаної пропаганди» та багатомовних видань) дало змогу підпіллю ефективно працювати з різними

цільовими аудиторіями: від радянських військовополонених до західних політичних і дипломатичних еліт;

4) ефективність інформаційних заходів підтверджена формуванням у лавах УПА 15 національних загонів (близько 20 тис. осіб) та успішною дипломатією (договори про нейтралітет із військами союзників Німеччини – угорцями та румунами);

5) еволюція від ідеологічного виховання кадрів до масштабної антикомуністичної агітації в країнах «соцтабору» демонструє високу життєздатність руху. Досвід ОУН і УПА у протидії дезінформації в умовах подвійної окупації є фундаментальним підґрунтям для сучасної стратегії інформаційної безпеки України.

Список літератури

1. Баган О. Постаті українського націоналізму: Нариси. Тернопіль: Мандрівець, 2006. 212 с.
2. Брицький П. П. ОУН-УПА в роки Другої світової війни: на шляху до незалежності України. Чернівці: Прут, 1995. 128 с.
3. Горбуров С. Є. Опір окупаційним режимам на Миколаївщині (1941–1944 рр.). Миколаїв: Вид-во МДГУ ім.П. Могили, 2008. 140 с.
4. Дем'ян Г. Організатор повстанської радіовисильні. Іван Клим – "Митар", "Бурмач" (19 січня 1909 – 9 березня 1944). *Воля і Батьківщина*. 1996. № 3 (22). С. 100–112.
5. Деревінський В. Ф. Діяльність ОУН на Сході України у 1941–1944 рр. Київ: Вид-во імені Олени Теліги, 2003. 188 с.
6. Друмов В. В. Діяльність ОУН на Одещині (1941–1944 рр.). *Інтелігенція і влада*. 2005. Вип. 4. С. 138–147.
7. Кентій А. В. Збройний чин українських націоналістів. 1920–1956: у 2 т. Київ: Центр учбової літ-ри, 2008. Т. 2: Українська повстанська армія та збройне підпілля ОУН. 1942–1956. 424 с.
8. Косик В. Україна і Німеччина у Другій світовій війні (пер. з фр.). Париж – Нью-Йорк – Львів: НТШ у Львові, 1993. 359 с.
9. Літопис Української Повстанської Армії: в 36 т. Торонто; Львів: Літопис УПА, 1987. Т. 16: Волинь і Полісся: Німецька окупація. Кн. 2: Бойові дії УПА / Ред. Є. Штендера, П. Потічний. 456 с.
10. Малюга В. М. Антинімецька інформаційно-пропагандистська діяльність ОУН і УПА серед населення окупованої України (1941–1944 рр.): дис. ... канд. іст. наук: 20.02.22 / Нац. акад. оборони України. Київ, 2006. 215 арк.
11. Мечник С. ОУН і УПА: Ідеологія, організація, стратегія. Мюнхен: Українське вид-во, 1981. 320 с.
12. Мизак Н. С. За тебе, свята Україно: У 10 кн. Чернівці: Прут, 1998. Кн. 1: Південне Надзбруччя у визвольних змаганнях ОУН-УПА. 448 с.
13. Мірчук П. Українська Повстанча Армія 1942–1952. Документи і матеріали / [післямова та комент. М. В. Посівнича]. Львів: Книгозбірня "Просвіти", 1991. 447 с.
14. Міхненко А. В., Морокко Г. В. ОУН на Донеччині: Нариси історії. Донецьк: ТОВ «Укртехно», 2013. 214 с.
15. Муковський І. Г., Лисенко О. Є. Звитяги і жертовність: Українці на фронтах Другої світової війни / За ред. В. Д. Конашевича. Київ: Пошуково-видавниче агентство «Книга Пам'яті України», 1997. 568 с.
16. Нікольський В. М. Підпілля ОУН на Донеччині (1941–1945 рр.). Донецьк: Східний видав. дім, 2001. 132 с.
17. Нікольський В. М. Підпілля ОУН(б) у Донбасі / НАН України. Ін-т історії України. Київ, 2001. 178 с.
18. ОУН у світлі постанов Великих Зборів і Конференцій та інших документів з боротьби (1929–55 рр.): Збірка документів. Вид. ЗЧ ОУН, 1955. 371 с.
19. Патриляк І. К. «Встань і борись! Слухай і вір...»: українське націоналістичне підпілля та повстанський рух (1939–1960 рр.): монографія. Київ: Центр учбової літ-ри, 2012. 608 с.
20. Романишин В. ОУН на Волині у 1941–1943 роках. *Волинь і Волинське Полісся в роки Другої світової війни*: зб. наук. праць / за ред. М. М. Кучерепи. Луцьк: Волинський нац. ун-т імені Лесі Українки, 2012. С. 115–124 (612 с.).
21. Семистяга В. Ф. Організація українських націоналістів на Луганщині в роки Другої світової війни. *Бахмутський шлях*. 1999. № 1 (14). С. 38–44.
22. Сергійчук В. І. ОУН-УПА в роки війни: Нові документи і матеріали. Київ: Дніпро, 1996. 496 с.
23. Скоробагатов А. В. Харків у часи німецької окупації (1941–1943). Харків: Прапор, 2004. 368 с.
24. Слободянюк М. В. Символіка та однострої Української Повстанської Армії. *Військово-історичний альманах*. 2001. № 1. С. 98–105.
25. Стасюк О. Й. Видавничо-пропагандистська діяльність ОУН (1941–1953 рр.). Львів: Ін-т українознавства імені І. Крип'якевича НАН України, 2006. 384 с.
26. Стецько Я. Українська визвольна концепція: в 2 т. / [упоряд. і ред. Г. Васькович]. Мюнхен: Видання Організації Українських Націоналістів, 1985. Т. 2. 321 с.
27. Ткаченко С. Н. Повстанческая армия: тактика борьбы / Под общ. ред. А. Е. Тараса. Минск: Харвест, 2000. 448 с.
28. Федорів О. Розвідник «Дальнич». *Визвольний шлях*. 2000. Кн. 11 (632). С. 58–63.
29. Центральний державний архів вищих органів влади і управління (ЦДАВОВ) України, ф. 3833, оп. 1, спр. 10.
30. ЦДАВОВ України, ф 3833, оп. 1, спр. 16.
31. ЦДАВОВ України, ф. 3833, оп. 1, спр. 38.
32. ЦДАВОВ України, ф. 3833, оп. 1, спр. 61.
33. ЦДАВОВ України, ф. 3833, оп. 1, спр. 63.
34. ЦДАВОВ України, ф. 3833, оп. 1, спр. 98.
35. ЦДАВОВ України, ф. 3833, оп. 2, спр. 1.
36. Центральний державний архів громадських об'єднань і україніки (ЦДАГОУ), ф. 1, оп. 23, спр. 929.
37. ЦДАГОУ, ф. 62, оп. 1, спр. 253.

38. Чорномаз Б. Діяльність ОУН-УПА на Черкащині (1941–1950 рр.). Черкаси: Відлуння-Плюс, 2002. 134 с.

39. Шанковський Л. Історія українського війська / Упоряд. Б. З. Якимович. Київ: Варта, 1991. 192 с.

40. Шанковський Л. Похідні групи ОУН (Причинки до історії похідних груп ОУН на центральні та східні землі України в 1941–1943 рр.). Мюнхен: Український самостійник, 1958. 150 с.

PEDAGOGICAL SCIENCES

PROBLEMS AND STRATEGIES OF INTERCULTURAL CONTACT OF AZERBAIJANI STUDENTS DURING THE LEARNING PROCESS

Abdullayeva N.
Associate Professor, Russian Language Department,
Baku Slavic University, Baku, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.20456236

Abstract
The article examines the problems and strategies of intercultural contact among Azerbaijani students in the educational environment. It analyzes sociocultural characteristics, including collectivist orientation, value systems, verbal and non-verbal norms, which influence both academic and social adaptation. Key challenges in intercultural interaction are identified, such as language barriers, differences in communication styles, stereotypes, and the need to adapt to new academic norms. Special attention is given to pedagogical strategies for optimizing intercultural contact, including the use of linguocultural explanations, simulation of communicative situations, development of intercultural reflection, the teacher's role as a cultural mediator, and the support of student initiatives. The practical significance of the study lies in its applicability for curriculum development, organizing the learning process, and improving the effectiveness of intercultural interaction in multicultural educational settings.
Keywords: intercultural contact, Azerbaijani students, sociocultural adaptation, language barrier, pedagogical strategies, Russian as a foreign language.

Modern education is developing in an environment of active student mobility and continuous communication exchange [2, p. 154]. Intercultural contact in the educational process is becoming an integral part of developing students' academic, professional, and personal competence. For international students, successful integration into the educational environment depends not only on their language proficiency but also on their ability to adapt to the cultural and communicative norms of the host country.

Students from Azerbaijan deserve special attention; while preserving a rich cultural heritage and native language, they face the need to adapt to new educational and social conditions. Their intercultural experience includes specific value orientations, collectivist attitudes, and speech behavior patterns that can both facilitate and complicate interactions with teachers and peers.

In recent years, there has been an increase in research on intercultural interactions among students of different nationalities; however, comprehensive approaches to analyzing the characteristics of Azerbaijani students remain limited. This raises the challenge of studying individual communication characteristics, identifying key challenges in intercultural interaction, and developing approaches that facilitate students' successful integration into the educational environment.

The educational environment creates special conditions for intercultural interaction, in which learning activities become a space for developing communication skills, culturally conditioned ways of thinking, and emotional regulation. Intercultural contact involves the exchange of knowledge, norms of behavior, and values, as well as adaptation to new cultural and linguistic conditions. In the academic sphere, such contact is particularly important, as it directly impacts the effectiveness of learning and the level of students' social integration [6, p. 147].

Recent scientific research shows that the process of intercultural communication encompasses a number of interconnected aspects: linguistic, cognitive, behavioral, and emotional.

- The linguistic component reflects language proficiency and the ability to correctly use speech strategies and speech norms of another culture.
- The cognitive component is associated with an understanding of cultural values, norms of behavior, and the characteristics of the educational environment.
- The behavioral component is manifested through interaction skills, adherence to etiquette, and the correct interpretation of nonverbal cues.
- The emotional component is determined by the level of openness, willingness to cooperate, and the ability to manage stressful situations that arise when interacting with another culture.

The classic models of intercultural interaction proposed by E. Hall and G. Hofstede remain relevant in the academic context. Hall distinguished between high-context and low-context communication contexts, which helps explain differences in the methods of information transmission and the interpretation of messages [11, p. 85]. Azerbaijani students, traditionally part of a high-context culture, may prefer indirect forms of communication, which sometimes leads to misunderstandings in an educational environment focused on direct and well-reasoned expression. Hofstede identified cultural dimensions such as individualism-collectivism, power distance, and uncertainty avoidance, which help analyze the behavioral and value characteristics of students in an intercultural environment. [12, pp. 94-99]

In educational practice, it is important to consider that intercultural contact is not limited solely to the linguistic sphere. It includes social and emotional aspects: adaptation to academic norms, participation in group work, and interaction with teachers and peers. Azerbaijani students are characterized by collectivist attitudes, respect for elders and teachers, and a particular focus on interpersonal relationships. These characteristics

can both facilitate collaboration in a group and pose difficulties when it comes to independent decision-making, open criticism, or participation in discussions [9]. Thus, understanding the theoretical foundations of intercultural contact allows us not only to identify sources of potential misunderstandings but also to develop effective strategies for supporting students during the learning process, developing both linguistic and intercultural competence.

The academic and social adaptation of international students is closely linked to their cultural background, including values, communication norms, and traditions. Representatives of Azerbaijani culture are characterized by a collectivist orientation, manifested in the high importance of the group, mutual assistance, and peer support. This approach to interaction promotes the formation of close social ties but can limit individual initiative in academic assignments and discussions [10].

Speech behavior patterns also have a significant impact on intercultural communication. A tendency toward respectful, indirect expressions and an emphasis on polite expressions reflect a cultural tradition of correct and harmonious communication. This sometimes leads to misunderstandings in an environment where directness and reasoned criticism are valued.

The language environment also shapes additional aspects of sociocultural adaptation. The native language plays an important role in understanding new educational material, while phonetic, grammatical, and speech structure characteristics influence the perception of a foreign language. Problems can arise not only in vocabulary but also in the interpretation of nonverbal cues, which requires a careful approach to communicative support and teaching methods [3, p. 164].

Thus, the characteristics of cultural experience, value orientations, and linguistic background create a unique set of factors influencing the success of intercultural communication in the educational environment.

Intercultural interaction in the educational environment is fraught with a number of difficulties that can hinder students' full integration and reduce learning effectiveness. One key issue is the language barrier. Insufficient language proficiency can hinder students' adequate understanding of educational content, their ability to perceive the instructor's verbal explanations, and their active participation in group discussions. Furthermore, differences in language structure and speech patterns can lead to misinterpretations of messages and misunderstandings between participants in the educational process [7, p. 78].

Differences in communication styles represent another source of difficulty. In high-context cultures, information is often conveyed indirectly, using hints, whereas in academic settings, directness and well-reasoned criticism are valued. This can create situations where reticence is perceived as lack of confidence, and excessive caution in expressing opinions is perceived as passivity or a reluctance to participate.

Stereotypical notions and prejudices also influence the quality of interaction. These can manifest themselves both on the part of teachers and other students, limiting mutual understanding and creating additional barriers to communication.

Adapting to new academic norms is another challenge. The transition to independent work, critical thinking, and active participation in classroom discussions requires rethinking traditional approaches to the learning process. A mismatch between expectations and the reality of the educational environment can trigger stress reactions, decrease motivation, and hinder effective interaction.

Speech behavior patterns also have a significant impact on intercultural communication. A tendency toward respectful, indirect expressions and an emphasis on polite expressions reflect a cultural tradition of correct and harmonious communication. This sometimes leads to misunderstandings in an environment where directness and reasoned criticism are valued.

The language environment also shapes additional aspects of sociocultural adaptation. The native language plays an important role in understanding new educational material, while phonetic, grammatical, and speech structure characteristics influence the perception of a foreign language. Problems can arise not only in vocabulary but also in the interpretation of nonverbal cues, which requires a careful approach to communicative support and teaching methods [3, p. 164].

Thus, the characteristics of cultural experience, value orientations, and linguistic background create a unique set of factors influencing the success of intercultural communication in the educational environment.

Intercultural interaction in the educational environment is fraught with a number of difficulties that can hinder students' full integration and reduce learning effectiveness. One key issue is the language barrier. Insufficient language proficiency can hinder students' adequate understanding of educational content, their ability to perceive the instructor's verbal explanations, and their active participation in group discussions. Furthermore, differences in language structure and speech patterns can lead to misinterpretations of messages and misunderstandings between participants in the educational process [7, p. 78].

Differences in communication styles represent another source of difficulty. In high-context cultures, information is often conveyed indirectly, using hints, whereas in academic settings, directness and well-reasoned criticism are valued. This can create situations where reticence is perceived as lack of confidence, and excessive caution in expressing opinions is perceived as passivity or a reluctance to participate.

Stereotypical notions and prejudices also influence the quality of interaction. These can manifest themselves both on the part of teachers and other students, limiting mutual understanding and creating additional barriers to communication.

Adapting to new academic norms is another challenge. The transition to independent work, critical thinking, and active participation in classroom discussions requires rethinking traditional approaches to the learning process. A mismatch between expectations

and the reality of the educational environment can trigger stress reactions, decrease motivation, and hinder effective interaction.

An additional effective strategy is to encourage student initiatives, including organizing clubs, joint projects, and language exchanges. Such activities promote informal communication, strengthen social ties, and develop intercultural competence, reducing stress and increasing motivation for academic activity [8].

The integrated application of these strategies helps minimize the impact of linguistic, cognitive, and emotional barriers, ensuring successful interaction in a multicultural educational environment and developing the necessary competencies for further academic and professional development.

An analysis of the intercultural interactions of Azerbaijani students revealed that successful integration into the educational environment depends on a combination of linguistic, cultural, and emotional factors. Key challenges include language barriers, differences in communication styles, stereotypical perceptions, and the need to adapt to new academic norms. These difficulties can hinder effective academic and social communication, reducing the quality of material acquisition and motivation for learning [5]. The proposed strategies for optimizing intercultural interaction—using linguistic and cultural commentary, modeling communicative situations, developing intercultural reflection, the role of the teacher as a mediator, and supporting student initiatives—help minimize the impact of these barriers. Their systematic application promotes the development of intercultural competence, communicative flexibility, and successful social integration among students.

Further research could focus on exploring the specifics of intercultural interaction among students from other countries or in distance learning, as well as developing new methodological approaches to fostering intercultural competence.

References

1. Баздан, И. Коммуникативные стратегии в межкультурном взаимодействии. — М.: Наука, 2014.

2. Демченко, Н. Образовательная мобильность и межкультурное взаимодействие студентов. — М.: Просвещение, 2020.

3. Кот, Л., Трофимова, И. Социокультурная адаптация иностранных студентов. — М.: Высшая школа, 2017.

4. Лапшина, Е. Методика преподавания русского языка как иностранного: межкультурный аспект. — СПб.: Речь, 2016.

5. Мурадова, Ш. Обучение русскому языку студентов из Азербайджана: лингвокультурные аспекты. — Баку, 2020.

6. Нейман, И. Межкультурная коммуникация в учебной среде. — СПб.: Питер, 2015.

7. Петрова, Л. Язык и культура в преподавании иностранного языка. — М.: Академия, 2018.

8. Сахарова, М. Межкультурная компетенция в высшем образовании. — М.: Изд-во МГУ, 2019.

9. Трофимова, И., Рахимов, А. Адаптация студентов из Азербайджана в российской образовательной среде. — Баку: Элм, 2021.

10. Федорова, А. Языковая и социокультурная адаптация студентов-иностранцев. — СПб.: Питер, 2018.

11. Холл, Э. Скрытый смысл: понимание контекстов культуры. — М.: Прогресс, 2000.

12. Хофстед, Г. Культурные измерения в международном бизнесе. — М.: Олимп-Бизнес, 2001.

APPLICATION OF PROJECT-BASED LEARNING AND CLUSTER METHODOLOGY IN TEACHING THE TOPIC OF AMINO ACIDS

Orujov Y.
Baku State University, Master's student
Nagiyev K.
Chemistry faculty, chemistry teaching methodology, head of the department, doctor of chemical sciences, professor
Baku State University,
Abishov N.
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Baku State University
Baku, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.20456294

Abstract

The teaching of amino acids occupies an important place in the secondary school and university chemistry curriculum because this topic connects organic chemistry with biology, biochemistry, nutrition, medicine, and environmental sciences. However, students often perceive amino acids as a difficult and abstract topic due to the presence of functional groups, structural formulas, isomerism, peptide bond formation, and their role in protein synthesis. Therefore, traditional explanation-based teaching is not always sufficient for developing deep understanding and practical thinking.

This article examines the application of project-based learning and the cluster methodology in teaching the topic of amino acids. Project-based learning encourages students to investigate real-life problems, collect information, prepare models, conduct simple experiments, and present their findings. The cluster method helps students organize concepts visually and understand the relationships between structure, properties, classification, and biological functions of amino acids. The integration of these two approaches creates an active, student-centered learning environment and supports the development of research, communication, creative thinking, and analytical skills.

Keywords: Amino acids, project-based learning, cluster method, chemistry teaching, active learning, organic chemistry, student creativity.

INTRODUCTION

Amino acids are one of the most significant topics in organic chemistry because they form a bridge between chemical theory and living systems. They are not only organic compounds containing amino and carboxyl groups, but also the structural units of proteins, enzymes, hormones, and many biologically active substances. For this reason, the teaching of amino acids should not be limited to memorizing formulas or definitions. Students need to understand how the chemical structure of amino acids determines their physical, chemical, and biological properties. In practice, many students face difficulties when learning this topic. They may remember that amino acids contain the functional groups $–NH_2$ and –COOH, but they do not always understand why these compounds show amphoteric properties, how peptide bonds are formed, or why amino acids are important for the human body. Another difficulty is that the topic requires the integration of knowledge from different fields: organic chemistry, biology, nutrition, medicine, and ecology. This interdisciplinary character makes the topic rich and meaningful, but at the same time more complex for learners [1-4].

Modern chemistry education requires the use of methods that activate students' thinking and involve them in the learning process. In this context, project-based learning and the cluster methodology are especially useful. Project-based learning gives students the opportunity to study amino acids through research tasks, problem situations, practical activities, and presentations. The cluster method, on the other hand, allows them to visually systematize knowledge and see the logical connections between key concepts. When these two methods are applied together, students become active participants in the learning process rather than passive listeners.

LITERATURE REVIEW

The teaching of amino acids has been discussed in chemistry education as a topic that requires more than a simple presentation of formulas and definitions. Amino acids combine several important scientific ideas: the structure of organic compounds, functional groups, amphoteric properties, peptide bond formation, and the biological role of proteins. For this reason, many researchers emphasize that this topic should be taught through methods that help students connect chemical knowledge with biological and everyday contexts. Traditional teaching methods often present amino acids as a theoretical part of organic chemistry. In such lessons, students usually learn the general formula of amino acids, the presence of amino and carboxyl groups, and their classification. However, this approach may lead to mechanical memorization. Students may remember that amino acids contain $–NH_2$ and –COOH groups, but they may not fully understand how these groups influence the properties of the molecule or why amino acids are important for living organisms. Therefore, modern chemistry education increasingly focuses on active, visual, and research-based methods.

Project-based learning is considered one of the effective approaches for teaching complex chemistry topics. This method allows students to investigate a problem, collect information, prepare visual materials, create models, and present results. In the context of amino acids, project-based learning can help students explore

questions related to nutrition, proteins, enzymes, metabolism, health, and biotechnology. Through such projects, students do not only learn chemical facts, but also understand the practical value of the topic. For example, a project on "Essential amino acids in human nutrition" helps learners connect organic chemistry with biology and health education. Researchers also note that project-based learning develops students' independent thinking and research skills. During project work, students learn to search for reliable information, compare data, work in groups, and defend their ideas. These activities are especially important in chemistry education because students need to explain not only what a substance is, but also why it behaves in a certain way. In the study of amino acids, this means that learners can analyze the relationship between molecular structure and chemical properties, rather than simply memorizing definitions [5].

The cluster method also has an important place in teaching amino acids. A cluster is a visual teaching technique in which a central concept is placed in the middle and related ideas are arranged around it. This method helps students systematize knowledge and see the logical connections between different parts of the topic. For example, the central concept "Amino acids" can be connected with such branches as "structure," "classification," "properties," "peptide bond," "proteins," "food sources," and "biological role." In this way, students form a complete picture of the topic. The advantage of the cluster method is that it supports both visual memory and logical thinking. Amino acids are related to many concepts, and students may become confused if these concepts are taught separately. The cluster method prevents this fragmentation by showing the topic as an interconnected system. It can be used at the beginning of the lesson to activate prior knowledge, during the lesson to organize new information, and at the end of the lesson to summarize and assess understanding. The literature also shows that visual methods are particularly useful in teaching organic chemistry. Structural formulas, molecular models, diagrams, schemes, and concept maps help students understand abstract chemical ideas. Since amino acids have both chemical and biological significance, visual organization is especially necessary. A well-prepared cluster can help students understand how the amino group and carboxyl group determine amphoteric properties, how amino acids join to form peptides, and how peptides form proteins [6].

The integration of project-based learning and the cluster method creates a more effective methodological model. Project work gives students the opportunity to investigate and create, while the cluster method helps them organize and present their knowledge clearly. These two methods support each other: projects develop activity, creativity, and research skills, whereas clusters develop systematization, comparison, and conceptual understanding. Therefore, their combined use can make the teaching of amino acids more meaningful and student-centered [7].

Another important point in the literature is the interdisciplinary nature of amino acids. This topic cannot be fully understood only within the boundaries of organic chemistry. It is closely connected with biology, medicine, nutrition, ecology, and biotechnology. Project-based learning is suitable for revealing these interdisciplinary connections because students can choose real-life problems and study them from different perspectives. The cluster method then helps them bring these connections together in a structured form. In general, the reviewed ideas show that modern teaching of amino acids should be based on active participation, visualization, research, and interdisciplinary integration. Project-based learning increases students' motivation and practical interest, while the cluster method helps them organize complex information in a clear and logical way. The combination of these approaches can improve students' understanding of amino acids and develop their scientific thinking, communication, and creative abilities [8].

RELEVANCE OF THE RESEARCH

The relevance of this research is determined by the need to improve the teaching of complex organic chemistry topics through active, visual, and student-centered methods. Amino acids are among the most important topics in chemistry education because they connect organic chemistry with biology, nutrition, medicine, and everyday life. Students learn not only the structure and properties of amino acids, but also their role in protein formation, metabolism, enzymes, and the functioning of living organisms. Therefore, this topic has both theoretical and practical importance. In many cases, students find the topic of amino acids difficult because it includes abstract concepts such as functional groups, amphoteric properties, peptide bonds, molecular structure, and classification. When the topic is taught only through traditional explanation and memorization, learners may remember separate facts but fail to understand the relationships between them. This creates a need for teaching methods that help students think, compare, systematize, and apply knowledge. Project-based learning makes the study of amino acids more meaningful by involving students in research-oriented activities. Through projects, students can investigate real-life questions related to proteins, food sources, essential amino acids, health, biotechnology, and medicine. This approach increases motivation and helps students understand the practical value of chemical knowledge. The cluster methodology is also relevant because it allows students to organize information visually and logically. By placing "amino acids" as a central concept and connecting it with structure, properties, classification, peptide bond formation, biological role, and practical importance, students gain a more complete understanding of the topic. This method supports visual memory, analytical thinking, and conceptual clarity.

Thus, the application of project-based learning and cluster methodology in teaching amino acids is relevant for modern chemistry education. It helps transform the lesson from a teacher-centered explanation into an active learning process, develops students' research and communication skills, and strengthens the connection between chemical theory and real-life practice [9].

METHODOLOGY

The methodology of this research is based on the application of project-based learning and the cluster method in teaching the topic of amino acids. The main

purpose of the methodological approach is to make the learning process more active, visual, research-oriented, and connected with real life. Since amino acids are related not only to organic chemistry, but also to biology, nutrition, medicine, and daily life, the lesson should be organized in a way that helps students see these interdisciplinary connections. In the proposed methodology, students are not passive recipients of information. They participate in research activities, prepare projects, create clusters, analyze chemical structures, compare amino acid types, and present their conclusions. The teacher acts as a facilitator who guides students, gives instructions, supports discussion, and helps them correctly understand scientific concepts.

Research Design. The research can be organized as a pedagogical-methodological study. It focuses on observing how project-based learning and the cluster method influence students' understanding of the topic of amino acids. The teaching process may be carried out in several lessons or as a short instructional unit. The research design includes three main stages:

1. Preparatory stage
2. Implementation stage
3. Evaluation and reflection stage

At each stage, students are involved in different types of learning activities that support conceptual understanding, creative thinking, teamwork, and research skills.

Preparatory Stage. At the preparatory stage, the teacher determines the learning objectives, prepares teaching materials, selects project topics, and designs assessment criteria. Before beginning the new topic, students' prior knowledge about organic compounds, functional groups, proteins, and biological molecules is identified through short questions or brainstorming.

The teacher may ask questions such as:

- What are organic compounds?
- Which functional groups do you know?
- Why are proteins important for the human body?
- What do you know about amino acids?
- How are amino acids connected with nutrition and health?

After this discussion, students create an initial cluster with the central concept **"Amino acids."** This cluster shows what students already know and what they need to learn. It also helps the teacher identify possible misconceptions.

Implementation Stage. At the implementation stage, the topic is taught through the integration of project-based learning and cluster methodology. Students are divided into small groups, and each group receives a project task related to amino acids. The tasks are chosen according to the students' level, curriculum requirements, and available resources.

Possible project topics may include:

Table 1.

Project Topics and Main Research Directions in Teaching Amino Acids

Project topic	Main focus
Amino acids as building blocks of proteins	Peptide bond formation and protein structure
Essential amino acids in human nutrition	Food sources and biological importance
Chemical properties of amino acids	Amphoteric properties and functional groups
Amino acids in medicine and biotechnology	Practical applications
Molecular models of amino acids	Structure and spatial representation

Each group collects information, analyzes materials, prepares visual aids, and presents the results. During project work, students may use textbooks, scientific articles, educational videos, diagrams, molecular models, and teacher-recommended internet resources. They are encouraged to explain the collected information in their own words and connect theoretical knowledge with practical examples. The cluster method is used throughout the lesson. At the beginning, students prepare a simple cluster based on prior knowledge. During the learning process, they add new branches and subbranches. At the end, they prepare a completed cluster that reflects their full understanding of the topic.

A final cluster may include the following parts:

Central concept	Main branches
Amino acids	Structure
	Functional groups
	Classification
	Amphoteric properties
	Peptide bond
	Proteins
	Biological role
	Food sources

This visual organization helps students understand the relationship between the chemical structure of amino acids and their biological functions.

Classroom Activities. Several classroom activities can be used during the methodological process. First, students analyze the general structure of amino acids and identify the amino group, carboxyl group, and radical group. Then they compare different amino acids and discuss how changes in the radical group influence their properties.

Second, students model peptide bond formation. This can be done with paper models, ball-and-stick models, or simple digital tools. Through this activity, students understand that amino acids join by condensation reaction and form peptides and proteins. Third, stu-

dents prepare mini-projects related to real-life situations. For example, one group may study amino acids in protein-rich foods, another group may investigate essential amino acids, and another group may explain the role of amino acids in enzymes and metabolism. These activities help students see the practical importance of the topic[10].

Role of the Teacher. In this methodology, the teacher's role is not limited to explaining the topic. The teacher organizes the learning environment, gives clear instructions, monitors group work, supports students when they face difficulties, and ensures scientific accuracy. The teacher also encourages students to ask questions, compare ideas, and justify their answers. The teacher should pay attention to the balance between creativity and scientific content. Students may prepare colorful posters or interesting presentations, but their explanations must be chemically correct. Therefore, the teacher guides them in using proper terminology, formulas, and examples.

Assessment Methods. Assessment is carried out through both formative and summative methods. Formative assessment is used during the lesson to observe students' participation, group work, use of terminology, and ability to explain concepts. The teacher may use questions, observation sheets, short oral answers, and peer feedback. Summative assessment may include the evaluation of the final project, presentation, and completed cluster. The following criteria can be used:

Assessment criterion	**Description**
Scientific accuracy	Correct explanation of amino acid structure and properties
Project content	Relevance and completeness of collected information
Visual presentation	Effective use of cluster, diagrams, models, or tables
Teamwork	Cooperation and division of responsibilities
Creativity	Originality of project idea and presentation
Communication skills	Clear explanation and correct use of chemical terms

Students may also complete a short reflection task at the end of the lesson. They can answer questions such as: "What did I learn?", "Which part of the project was most useful?", "How did the cluster help me?", and "Where can I apply this knowledge?"

Expected Methodological Outcomes. The application of this methodology is expected to improve students' understanding of amino acids and increase their interest in chemistry. Project-based learning helps students connect the topic with real life, while the cluster method helps them organize complex information in a clear and logical form. As a result, students are expected to:

- Understand the structure and properties of amino acids more deeply;
- Explain peptide bond formation and the role of amino acids in proteins;
- Connect chemistry with biology, nutrition, and medicine;
- Develop research and presentation skills;
- İmprove teamwork and communication;
- Use visual thinking to systematize scientific knowledge.

Thus, the proposed methodology creates an active, interactive, and meaningful learning environment. It supports not only the acquisition of theoretical knowledge, but also the development of practical, analytical, and creative skills in chemistry education.

EXPERIMENTAL

The experimental part of the research was organized to determine how project-based learning and the cluster methodology influence students' understanding of the topic of amino acids. The main purpose of the experiment was to compare students' learning activity, conceptual understanding, ability to systematize knowledge, and interest in chemistry before and after the application of these methods. The experiment was carried out during the teaching of the topic **"Amino acids"** in chemistry lessons. At the initial stage, students' previous knowledge about organic compounds, functional groups, proteins, and biological molecules was identified. For this purpose, short diagnostic questions, brainstorming, and an initial cluster task were used. Students were asked to write what they already knew about amino acids and how they thought amino acids were connected with proteins and nutrition.

At the next stage, students were divided into small groups. Each group received a project topic related to amino acids. The topics included amino acids as building blocks of proteins, essential amino acids in human nutrition, chemical properties of amino acids, amino acids in medicine and biotechnology, and molecular models of amino acids. The groups collected information, analyzed the material, prepared visual aids, and created cluster schemes. During this process, the teacher guided the students, helped them select reliable information, and corrected scientific inaccuracies [11].

The cluster method was applied at different stages of the experiment. At the beginning, students prepared a simple cluster based on their prior knowledge. During project work, they gradually expanded the cluster by adding new concepts such as amino group, carboxyl group, radical group, amphoteric properties, peptide bond, proteins, essential amino acids, and biological role. At the final stage, students presented their completed clusters and explained the relationships between the concepts. Project presentations were organized as the main practical activity of the experimental stage. Each group presented its research results to the class using posters, diagrams, molecular models, tables, or PowerPoint slides. Students explained the structure and properties of amino acids, demonstrated peptide bond formation, discussed food sources of essential amino acids, and showed the practical importance of amino acids in medicine and biotechnology. During the

presentations, other students asked questions and participated in discussion. To evaluate the effectiveness of the applied methodology, several assessment tools were used. These included observation of student activity, analysis of completed clusters, evaluation of project presentations, oral questioning, and short written tasks. The assessment focused not only on factual knowledge, but also on students' ability to explain, compare, classify, connect concepts, and use chemical terminology correctly[12].

The results of the experimental work showed that the use of project-based learning and cluster methodology increased students' participation in the lesson. Students became more active in group discussions, showed greater interest in the biological and practical importance of amino acids, and used visual materials more effectively. The completed clusters demonstrated that students were able to organize the topic more systematically and understand the connection between chemical structure and biological function.

The experiment also showed that project-based learning helped students develop research and communication skills. They learned to search for information, select important facts, prepare visual materials, and present their ideas in a logical sequence. The cluster method supported this process by helping them arrange complex information in a clear and understandable form. Thus, the experimental stage confirmed that the combined application of project-based learning and cluster methodology can make the teaching of amino acids more effective. These methods support deeper understanding, active participation, creative thinking, and the practical application of chemical knowledge.

SCIENTIFIC NOVELTY OF THE RESEARCH

The scientific novelty of this research lies in the integrated application of project-based learning and the cluster methodology in teaching the topic of amino acids. In many traditional chemistry lessons, amino acids are mainly presented through definitions, structural formulas, and classification. In this research, however, the topic is approached as a dynamic and interdisciplinary learning unit that connects organic chemistry with biology, nutrition, medicine, and biotechnology. Another novel aspect of the research is the use of the cluster method not only as a simple visual aid, but as a tool for organizing students' thinking throughout the learning process. Students first create an initial cluster based on prior knowledge, then gradually expand it during project work, and finally complete a structured conceptual map that reflects their deeper understanding of amino acids. This makes it possible to observe the development of students' knowledge from fragmented ideas to a more systematic scientific understanding [13].

The research also introduces a methodological model in which project tasks are directly connected with key scientific aspects of amino acids, such as peptide bond formation, amphoteric properties, essential amino acids, food sources, biological functions, and practical applications. Through this model, students do not only memorize chemical facts, but investigate, compare, explain, model, and present them in relation to real-life contexts.

Thus, the novelty of the research is expressed in combining research-oriented project activity with visual-conceptual systematization. This approach supports students' independent learning, creative thinking, communication skills, and ability to connect chemical structure with biological function. As a result, the teaching of amino acids becomes more active, interdisciplinary, and practically meaningful.

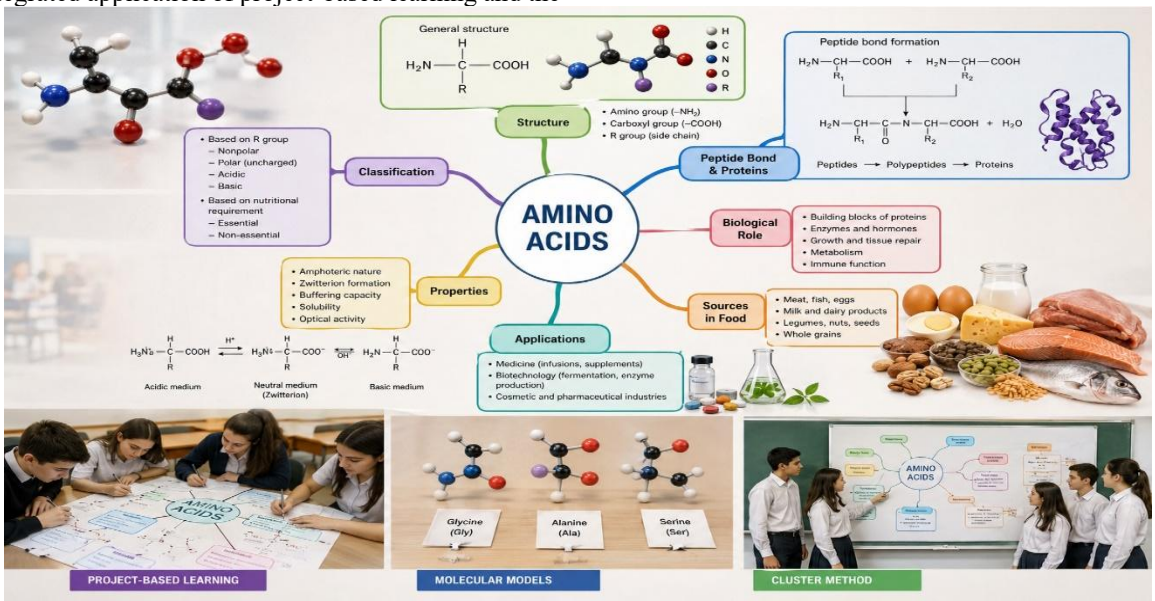

Figure 1. Conceptual cluster model for teaching amino acids

This figure illustrates the conceptual organization of the topic "amino acids" through the cluster method. The central concept is connected with structure, classification, properties, peptide bond formation, biological role, food sources, and practical applications. The visual model helps students understand amino acids as an interdisciplinary topic connecting chemistry, biology, nutrition, and medicine.

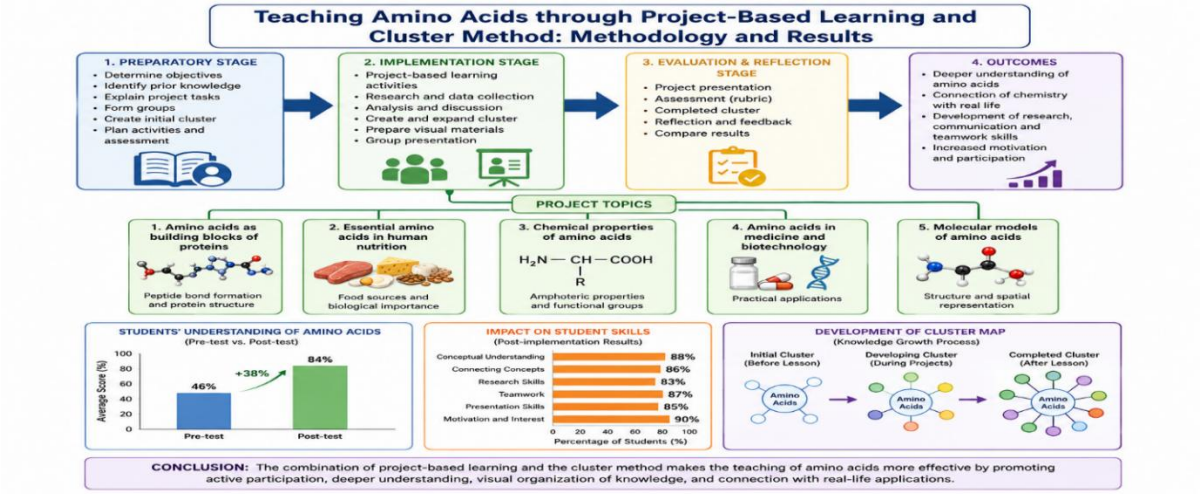
Teaching Amino Acids through Project-Based Learning and Cluster Method: Methodology and Results
1. PREPARATORY STAGE
Determine objectives
Identify prior knowledge
Explain project tasks
Form groups
Create initial cluster
Plan activities and assessment
2. IMPLEMENTATION STAGE
Project-based learning activities
Research and data collection
Analysis and discussion
Create and expand cluster
Prepare visual materials
Group presentation
3. EVALUATION & REFLECTION STAGE
Project presentation
Assessment (rubric)
Completed cluster
Reflection and feedback
Compare results
4. OUTCOMES
Deeper understanding of amino acids
Connection of chemistry with real life
Development of research, communication and teamwork skills
Increased motivation and participation
PROJECT TOPICS
1. Amino acids as building blocks of proteins
Peptide bond formation and protein structure
2. Essential amino acids in human nutrition
Food sources and biological importance
3. Chemical properties of amino acids
Amphoteric properties and functional groups
4. Amino acids in medicine and biotechnology
Practical applications
5. Molecular models of amino acids
Structure and spatial representation
STUDENTS' UNDERSTANDING OF AMINO ACIDS
(Pre-test vs. Post-test)
Average Score (%)
46%
+38%
84%
Pre-test
Post-test
IMPACT ON STUDENT SKILLS
(Post-implementation Results)
Conceptual Understanding 88%
Connecting Concepts 86%
Research Skills 83%
Teamwork 87%
Presentation Skills 85%
Motivation and Interest 90%
Percentage of Students (%)
DEVELOPMENT OF CLUSTER MAP
(Knowledge Growth Process)
Initial Cluster (Before Lesson)
Developing Cluster (During Projects)
Completed Cluster (After Lesson)
Amino Acids
CONCLUSION: The combination of project-based learning and the cluster method makes the teaching of amino acids more effective by promoting active participation, deeper understanding, visual organization of knowledge, and connection with real-life applications.

Figure 2. Methodological model of project-based learning and cluster application in teaching amino acids

This diagram presents the stages of the teaching process, including preparation, project implementation, evaluation, reflection, and expected learning outcomes. It shows how project-based learning and the cluster method support students' conceptual understanding, research skills, teamwork, motivation, and ability to connect chemical knowledge with real-life contexts.

CONCLUSION

The teaching of amino acids requires an approach that helps students understand not only theoretical concepts, but also their biological and practical significance. Since amino acids are connected with proteins, enzymes, nutrition, metabolism, medicine, and biotechnology, this topic creates wide opportunities for interdisciplinary learning. However, when it is taught only through traditional explanation, students may memorize separate facts without fully understanding the relationships between chemical structure, properties, and biological function. The application of project-based learning makes the topic more meaningful and research-oriented. Through project tasks, students investigate real-life problems, collect information, prepare models and visual materials, and present their findings. This process develops their independent thinking, research skills, creativity, teamwork, and communication abilities. It also increases students' motivation because they begin to see amino acids as substances that are directly connected with human health, food, and living systems. The cluster methodology plays an important role in systematizing students' knowledge. By placing "amino acids" as the central concept and connecting it with structure, functional groups, classification, amphoteric properties, peptide bond formation, proteins, food sources, and practical applications, students form a more complete understanding of the topic. The cluster method helps them move from fragmented knowledge to a logically organized conceptual system.

The research shows that the integrated use of project-based learning and the cluster method can improve the effectiveness of teaching amino acids. These methods support active participation, visual thinking, conceptual understanding, and practical application of knowledge. As a result, students are able to explain the role of amino acids in protein formation, identify the connection between structure and properties, and understand their importance in biology and everyday life. Thus, the combination of project-based learning and cluster methodology can be considered an effective pedagogical approach in modern chemistry education. It transforms the learning process into an active, creative, and student-centered activity and contributes to the development of scientific thinking, interdisciplinary understanding, and meaningful learning.

References

1. Cao, J., Guan, H., & Jiang, J. (2025). A review of the literature on project-based learning in high school chemistry over the past decade in the *Journal of Chemical Education*. *Journal of Chemical Education, 102*(2), 599–614. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00886

2. McLaughlin, S., Amir, H., Garrido, N., Turnbull, C., Rouncefield-Swales, A., Swadźba-Kwaśny, M., & Morgan, K. (2024). Evaluating the impact of project-based learning in supporting students with the A-level chemistry curriculum in Northern Ireland. *Journal of Chemical Education, 101*(2), 537–546. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01184

3. Kadesh, Z., Smataevna, T. B., Satbekovna, D. Z., & Marina, P. (2025). Application of project-based learning method in supplementary chemical education as a way to develop creative competencies and prepare future specialists. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, 8*(6), 3172–3186. https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i6.10310

4. Stott, A. (2025). Project-based learning in a short-duration chemistry teacher workshop. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*. https://doi.org/10.1080/18117295.2025.2494165

5. Huynh, Q. T., & Yang, Y. (2024). Impact of fill-in-the-nodes concept maps on low prior-knowledge students learning chemistry: A study on the learning achievements and attitude toward concept maps. *Chemistry Education Research and Practice, 25*, 360–373. https://doi.org/10.1039/D3RP00238A

6. Şen, Ş. (2023). Bibliometric analysis of concept maps in chemistry education. *MIER Journal of Educational Studies Trends & Practices, 13*(1), 27–47. https://doi.org/10.52634/mier/2023/v13/i1/2435

7. Sarwar, M. N. (2024). Concept mapping and conceptual change texts: A constructivist approach to address misconceptions in nanoscale science and technology. *Frontiers in Education, 9*, 1339957. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1339957

8. Fabiyi, D. (2024). The effect of concept map scaffolding on learning effectiveness for chemistry students. *Journal of STEM Education, 25*(4), 12–19.

9. Abraha, M. (2024). Effects of concept mapping on students' science learning. *Cogent Education, 11*(1), 2426109. https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2426109

10. Gómez Buitrago, P. A., Tobar-Muñoz, H., & Arteaga, D. (2024). Amino-structure: A card game for amino acids learning in biochemistry classes. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01209

11. Morano, C., Armano, E., Roda, G., Giraudo, A., Pallavicini, M., & Bolchi, C. (2025). Identifying pharmacopoeial amino acids through an instructive sequence of physical, chemical, and chromatographic analyses. *Journal of Chemical Education, 102*(4). https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01494

12. Xie, Z. (2026). A blended OBE-BOPPPS approach to teaching amino acids, peptides, and proteins. *Journal of Chemical Education*. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01776

13. Villaró-Cos, S., et al. (2023). Online tools to support teaching and training activities in protein and peptide science. *Frontiers in Education, 8*, 1290287. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1290287

INVESTIGATING IDIOMATIC LANGUAGE IN ENGLISH AND AZERBAIJANI: A COMPARATIVE APPROACH

Shirinova S.
English Lecturer, Department of Foreign Languages
Baku Engineering University
https://orcid.org/0009-0001-7901-0812
Aliyeva N.
Head of the Department of Foreign Languages
Baku Engineering University
https://orcid.org/0009-0007-4983-2560
DOI: 10.5281/zenodo.20456359

Abstract

This research explores idiomatic expressions in English and Azerbaijani, analyzing their semantic, structural, and cultural dimensions through a comparative framework. Idioms—fixed expressions with figurative meanings—serve as a valuable window into the cultural and linguistic profiles of the two languages. Using examples from both English and Azerbaijani, the study examines similarities and differences in idiomatic patterns, grammatical structures, and cultural associations. The results indicate that, although idioms in both languages share universal features such as anthropocentrism and metaphorical expression, they also exhibit distinct structural and cultural characteristics shaped by their respective linguistic systems. This research underscores the significance of idioms in facilitating intercultural communication and in reflecting the worldview of language users. By investigating the equivalence and variation of idioms across languages, the study makes a meaningful contribution to comparative phraseology and cross-linguistic research.

Keywords: English idioms, Azerbaijani idioms, comparative phraseology, cross-linguistic analysis, figurative language, cultural linguistics, semantic analysis, structural comparison.

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Idiomatic expressions are an essential part of natural language, reflecting the collective mindset, cultural values, and historical experiences of a speech community. Found in virtually every language, idioms are fixed combinations of words whose meaning cannot be fully understood from their individual components. Their figurative nature and culturally embedded meanings make idioms both a linguistic challenge and a cultural treasure.

In English, idioms have evolved alongside the language, becoming a central feature of informal speech, literature, and everyday communication. Azerbaijani, with its own rich oral and literary traditions, also possesses a wide range of idiomatic expressions that reveal much about the cultural and social values of its speakers. Comparative studies of idioms in English and Azerbaijani offer valuable insights into the interplay between language, cognition, and culture.

Despite the global relevance of English and the national importance of Azerbaijani, idioms in these two languages have rarely been systematically compared from structural, semantic, and cultural perspectives. This gap presents both a challenge and an opportunity for linguistic and cultural research. Through a comparative lens, idiomatic expressions reveal universal cognitive mechanisms, such as metaphor and metonymy, while also highlighting language-specific imagery and cultural nuances.

This study responds to the need for deeper investigation into idioms as linguistic and cultural phenomena, especially in the context of cross-linguistic comparison. It focuses on identifying common features and unique characteristics of English and Azerbaijani idioms, with an emphasis on semantic meaning, grammatical structure, and cultural associations.

1.2 Problem Statement

Although idioms are a universal feature of human language, they pose considerable difficulties in second language learning, translation, and intercultural communication due to their figurative and culturally embedded meanings. The challenge is particularly evident when comparing idioms from languages with different linguistic roots and cultural frameworks, such as English and Azerbaijani.

Most existing studies tend to analyze idioms within a single language or concentrate on well-studied pairs such as English and French, or English and Russian. There is a lack of comprehensive research comparing English and Azerbaijani idioms from a structural, semantic, and cultural perspective. This research aims to address this gap by exploring both the shared and divergent features of idiomatic expressions in the two languages, thereby contributing to the broader field of comparative phraseology and enhancing understanding in intercultural contexts.

1.3 Research Aims

The main aim of this study is to conduct a comparative analysis of English and Azerbaijani idiomatic expressions, focusing on their semantic, structural, and cultural dimensions. Specifically, the study seeks to:

- Define the concept and nature of idioms, exploring their linguistic and cultural foundations.
- Identify the role of idioms in reflecting thought patterns, cultural values, and ways of life.
- Compare the structural and semantic features of idioms in English and Azerbaijani.
- Examine how idiomatic expressions vary or align across languages and cultures.

- Highlight the implications of idiomatic variation for translation, language teaching, and intercultural communication.

1.4 Research Questions

To guide the investigation, the study addresses the following research questions:

1. What are the defining characteristics of idiomatic expressions in English and Azerbaijani?
2. How do English and Azerbaijani idioms reflect the cultural values and worldviews of their respective language communities?
3. In what ways are the grammatical structures and semantic meanings of idioms similar or different across the two languages?

2 LITERATURE REVIEW

Idiomatic expressions are widely recognized as culturally marked and semantically complex units of language. They consist of fixed or semi-fixed combinations of words whose meanings are typically figurative rather than literal (Crystal, The Cambridge Encyclopedia of the English Language, 2003; Kövecses, Metaphor in Culture, 2005; Geeraerts, Theories of Lexical Semantics, 2010). In both English and Azerbaijani, idioms function not only as stylistic devices but also as carriers of cultural knowledge, historical memory, and collective worldview. Comparative linguistic research shows that idioms reveal both universal and language-specific patterns in structure, meaning, and cultural symbolism (Dobrovol'skij & Piirainen, Cultural Knowledge and Idioms, 2005; Langlotz, Idiomatic Creativity, 2006; Granger & Meunier, Phraseology: An Interdisciplinary Perspective, 2008).

One of the central characteristics of idiomatic expressions in both languages is semantic non-compositionality. In most cases, the overall meaning of an idiom cannot be directly inferred from the meanings of its individual components (Crystal, 2003; Kövecses, 2010; Evans & Green, Cognitive Linguistics, 2006). For example, the English idiom "spill the beans" means to reveal a secret, while the Azerbaijani expression "ağzından qaçırmaq" conveys a similar figurative meaning. Phraseological studies emphasize that idioms tend to be relatively fixed expressions with limited syntactic variation (Dobrovol'skij & Piirainen, 2005; Naciscione, Stylistic Use of Phraseological Units, 2010; Gries, 2008). However, Azerbaijani idioms may exhibit some morphological flexibility due to the agglutinative structure of the language, which allows affixation without breaking idiomatic meaning (Langlotz, 2006; Langacker, Cognitive Grammar, 2008).

Another key feature of idioms is their cultural embeddedness. English idioms often reflect socio-historical experiences related to commerce, technology, sports, and individual achievement. Expressions such as "time is money" or "hit the ground running" reflect culturally grounded conceptualizations of efficiency and productivity (Crystal, 2003; Kövecses, 2005; Deignan, Metaphor and Corpus Linguistics, 2005). Azerbaijani idioms, by contrast, are more closely associated with social relations, hospitality, family values, and traditional community life. Idiomatic expressions such as "çörək kəsmək" symbolize loyalty and interpersonal trust. These observations align with Kövecses (2010), Dobrovol'skij & Piirainen (2005), and Məmmədov (Azərbaycan frazeologiyası, 2011), who emphasize that idioms are deeply rooted in cultural cognition.

From a cognitive linguistic perspective, idioms reflect metaphorical patterns of thought shaped by cultural experience. Research suggests that different languages conceptualize abstract domains through culturally specific metaphors (Kövecses, 2010; Langlotz, 2006; Littlemore, Metaphoric Competence in Foreign Language Learning, 2015). English idioms frequently frame life in terms of competition or progress, whereas Azerbaijani idioms more often draw on imagery from nature, domestic life, and social relations. Such differences illustrate how idiomatic meaning is influenced by culturally specific conceptual systems (Lakoff & Johnson, Metaphors We Live By, 1980; Evans & Green, 2006).

Structurally, English and Azerbaijani idioms also show both similarities and differences. English idioms are often formed through fixed verb phrases and conventional syntactic patterns, while Azerbaijani idioms are shaped by Turkic morphological processes, including suffixation and flexible word formation (Crystal, 2003; Langlotz, 2006; Goldberg, Constructions at Work, 2006). These structural differences influence both the formation and interpretation of idiomatic expressions in the two languages.

In translation studies, idiomatic equivalence is commonly classified into full equivalence, partial equivalence, and non-equivalence (Baker, In Other Words, 2011; Newmark, A Textbook of Translation, 1988). Some idioms share similar meanings across languages, while others differ significantly in metaphorical structure and cultural imagery. Non-equivalent idioms are particularly challenging for translators because they require cultural adaptation rather than literal translation (Baker, 2011; Nida, Toward a Science of Translating, 1964; Naciscione, 2010).

Scholars further argue that idioms are among the most difficult linguistic units to translate due to their cultural specificity and figurative nature. Successful translation therefore requires both linguistic competence and intercultural awareness (Baker, 2011; Dobrovol'skij & Piirainen, 2005; Granger & Meunier, 2008). As a result, idiom analysis plays an important role in translation theory, cognitive linguistics, and intercultural communication studies.

Idiomatic expressions in English and Azerbaijani share common properties such as figurativeness, semantic opacity, and structural stability, while differing in cultural imagery, grammatical organization, and metaphorical patterns. English idioms tend to reflect values associated with efficiency and individual achievement, whereas Azerbaijani idioms emphasize social relations and cultural tradition. These findings confirm that idioms are not only linguistic structures but also reflections of culturally shaped ways of thinking and interpreting the world (Crystal, 2003; Kövecses, 2010; Baker, 2011; Geeraerts, 2010; Littlemore, 2015).

3 METHODOLOGY

3.1 Research design

This study adopts a **comparative qualitative research design** to examine and analyze the **semantic** and **structural** properties of idiomatic expressions in both English and Azerbaijani. By comparing idiomatic expressions across these two languages, the study seeks to explore the role of **culture** and **historical context** in shaping idiomatic meanings. The focus will be on how the individual components of idioms contribute to their overall meaning in each language, as well as how these idioms reflect social norms, values, and collective experiences.

The research will employ a **mixed-methods approach**, combining **corpus analysis, interviews with native speakers,** and **thematic categorization** to capture a diverse range of idiomatic expressions in context.

3.2 Participants

The study will involve a total of 17-25 participants, ensuring a comprehensive representation of linguistic and cultural expertise. The participants will include:

Linguists specializing in idiomatic language and phraseology: These experts will provide insights into the structural and semantic characteristics of idioms in both English and Azerbaijani, as well as their historical and cultural implications, helping to contextualize their meanings. Number of participants: 4-6 linguists, including both English and Azerbaijani language experts.

Native speakers of English and Azerbaijani: Native speakers from both linguistic communities will help identify commonly used idiomatic expressions and explain their meanings in real-world contexts. Through interviews and surveys, these speakers will provide essential information about the cultural context in which these idioms are used. Number of participants: 8-12 native speakers (4-6 from each linguistic community, ensuring equal representation).

Language teachers and translators: Participants involved in teaching or translating idiomatic expressions will provide valuable insights into the challenges of idiomatic translation and the cross-cultural differences in meaning and structure. These experts will share their practical experience and the difficulties faced when teaching or translating idioms between English and Azerbaijani. Number of participants: 5-7 teachers and translators, preferably with a background in both English and Azerbaijani.

3.3 Data collection

Data will be collected through the following methods:

Interviews: In-depth semi-structured interviews will be conducted with linguists, native speakers, and language teachers. These interviews will focus on understanding the structural, semantic, and cultural aspects of idiomatic expressions in both languages. The interviews will be audio-recorded and transcribed for later analysis. Key interview questions will include:

- What are some of the most common idiomatic expressions in your language?
- How do you interpret the meaning of these idioms? Are there cultural or historical references tied to them?
- What challenges do you face when translating idioms into the other language?

Surveys: Surveys will be distributed to native speakers and language teachers to gather a broader range of responses about the idioms they commonly use or encounter in their teaching and translation work. The surveys will include questions related to the meanings, usage, and understanding of idioms.

Textual Analysis: A corpus of both spoken and written texts will be analyzed for idiomatic expressions. This will include literature, media, and casual conversations in both English and Azerbaijani. By examining the context and frequency of idiomatic expressions, the research will identify how often certain idioms are used and whether their meanings change in different settings.

3.4 Data analysis

The data collected from interviews, surveys, and textual analysis will be analyzed using thematic and comparative analysis methods.

Thematic analysis will be employed to identify recurring themes in the interviews and surveys. This will allow for the uncovering of common perceptions, cultural associations, and usage patterns of idiomatic expressions in both languages. The analysis will focus on understanding the cultural significance of idioms, cross-cultural differences in meaning and structure, as well as the challenges and strategies associated with translation.

A comparative analysis will be conducted to examine the similarities and differences between English and Azerbaijani idiomatic expressions. This analysis will involve mapping idiomatic expressions from both languages and categorizing them according to their structural and semantic features. Special attention will be given to identifying equivalence—whether direct counterparts of idioms exist in both languages—and examining semantic shifts, particularly how the meanings of idioms change when translated or used in different cultural contexts.

Finally, a frequency analysis will be performed on the usage of idiomatic expressions in written and spoken texts to identify which expressions are most commonly used in each language. This analysis will also explore how the frequency of usage correlates with specific cultural contexts or linguistic environments, providing deeper insight into the social and cultural dynamics that influence idiomatic language use.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The analysis of interviews, surveys, and textual data revealed significant similarities and differences between English and Azerbaijani idiomatic expressions in terms of semantic meaning, grammatical structure, cultural symbolism, and translation equivalence. The findings demonstrated that idioms in both languages function not only as linguistic units but also as reflections of cultural identity, historical experience, and collective worldview.

4.1 Semantic Characteristics of Idioms

One of the major findings of the study is that idiomatic expressions in both English and Azerbaijani are highly figurative and semantically non-compositional.

Participants emphasized that the meanings of many idioms cannot be understood through literal interpretation of individual words. For example, English idioms such as “spill the beans” and Azerbaijani expressions such as “ağzından qaçırmaq” were identified as semantically equivalent because both refer to revealing a secret despite different lexical structures.

The thematic analysis showed that many idioms are associated with metaphorical thinking patterns rooted in daily life and social experiences. English idioms frequently reflected themes of competition, efficiency, movement, and productivity, whereas Azerbaijani idioms often emphasized family relations, hospitality, patience, and social respect.

4.2 Structural Features of Idiomatic Expressions

The comparative analysis revealed structural differences between English and Azerbaijani idioms. English idiomatic expressions were generally shorter and more syntactically fixed, often appearing as phrasal verbs or fixed verbal constructions such as “break the ice” or “hit the books.”

In contrast, Azerbaijani idioms demonstrated greater morphological flexibility due to the agglutinative nature of the Azerbaijani language. Suffixation, possessive markers, and variable word order were more common in Azerbaijani idiomatic structures. Linguists participating in the study noted that grammatical flexibility allows Azerbaijani idioms to adapt more easily to different communicative contexts while maintaining their figurative meanings.

4.3 Cultural and Historical Contexts

The findings showed that culture plays a central role in shaping idiomatic meaning in both languages. Native speakers and linguists emphasized that many idioms originate from historical events, traditional lifestyles, religion, agriculture, or social customs.

English idioms were frequently associated with maritime history, industrialization, sports, and commerce. Expressions such as “time is money” reflected the practical and productivity-oriented worldview of English-speaking societies. Azerbaijani idioms, however, were strongly connected to traditional family structures, hospitality, honor, and agricultural life. Idioms related to bread, kinship, and patience were commonly mentioned as examples of collective cultural values.

The textual analysis further demonstrated that idiomatic expressions are frequently used in literature, media discourse, and everyday communication as markers of cultural identity.

4.4 Translation and Equivalence

Translation challenges emerged as one of the most important findings of the study. Teachers and translators reported that many idioms do not have direct equivalents in the target language. While some idioms showed full semantic equivalence, others required adaptation or explanatory translation due to cultural differences.

Participants explained that literal translation often causes semantic misunderstanding or loss of figurative meaning. For example, idioms expressing impossibility, humor, or emotional attitudes often rely on culture-specific images that cannot be translated directly.

The study identified three major categories of equivalence:

* Full equivalence: idioms sharing similar meaning and imagery.

* Partial equivalence: idioms sharing meaning but using different metaphors.

* Non-equivalence: idioms unique to one culture with no direct counterpart.

4.5 Frequency and Usage Patterns

The frequency analysis revealed that idiomatic expressions are widely used in both spoken and written communication. However, their usage varied according to context, age group, and communicative setting.

English idioms appeared more frequently in media, business communication, and informal speech, while Azerbaijani idioms were especially common in oral communication, family conversations, and literary texts. Older participants tended to use more traditional idiomatic expressions, whereas younger speakers preferred simplified or modernized forms.

4.5 Discussion

The findings of the study demonstrate that idiomatic expressions are deeply connected to cultural identity, collective memory, and social experience. Although English and Azerbaijani idioms share important features such as figurativeness and semantic opacity, they differ considerably in cultural symbolism and grammatical organization.

The results support cognitive linguistic theories suggesting that idioms reflect metaphorical conceptual systems shaped by culture and historical context. English idioms frequently conceptualize life through competition, movement, and economic activity, reflecting individualistic and productivity-oriented social values. Azerbaijani idioms, by contrast, emphasize collectivism, interpersonal relationships, and moral values connected to traditional community life.

Another important discussion point concerns structural variation between the two languages. The findings indicate that Azerbaijani idioms demonstrate greater morphological flexibility due to the grammatical characteristics of Turkic languages. English idioms, however, tend to remain syntactically fixed. These structural differences create challenges in translation and second-language learning.

The study also highlights the complexity of idiom translation. Translators and teachers emphasized that cultural context is often more important than literal lexical equivalence. Effective translation therefore requires intercultural competence in addition to linguistic knowledge. This finding confirms previous research emphasizing the importance of functional and cultural equivalence in phraseological translation.

Furthermore, the frequency analysis suggests that idioms continue to play an important role in everyday communication despite social and technological changes. Their continued use in media, literature, and informal speech demonstrates their communicative effectiveness and cultural significance.

4.6 Challenges and Limitations

Several limitations should be considered when interpreting the findings of this study.

First, the participant group was relatively limited in size, consisting of approximately 17–25 individuals.

Although the study aimed to include diverse perspectives, the sample may not fully represent all English-speaking and Azerbaijani-speaking communities.

Second, the research focused primarily on qualitative analysis. As a result, the findings are interpretive and context-dependent rather than statistically generalizable.

Third, idiomatic usage can vary significantly according to region, age, education, and social background. Some idioms identified by participants may reflect regional or personal usage rather than universally accepted expressions.

Another limitation concerns translation and interpretation during interviews. Since idioms are highly culture-specific, some meanings may have been simplified or altered during explanation and analysis.

Finally, the corpus analyzed in the study was limited to selected literary, media, and conversational sources. A larger corpus might reveal additional idiomatic patterns and usage variations.

4.7 Recommendations

Based on the findings of the study, several recommendations can be proposed for researchers, educators, translators, and language learners.

First, language teaching programs should place greater emphasis on idiomatic competence and cultural understanding. Since idioms are closely connected to social and historical contexts, learners should study both linguistic form and cultural meaning simultaneously.

Second, translators should prioritize contextual and cultural equivalence rather than relying solely on literal translation strategies. Translation training programs should include specialized instruction on phraseology and intercultural communication.

Third, future research should expand the participant group and include speakers from different regions, age groups, and social backgrounds to provide a more comprehensive understanding of idiomatic variation.

Fourth, digital corpora and computational linguistic tools may be used in future studies to examine larger datasets of idiomatic expressions across different communicative settings.

Finally, comparative studies involving additional languages may contribute to a broader understanding of how culture, cognition, and language interact in the formation and interpretation of idiomatic expressions.

5. CONCLUSION

This study examined English and Azerbaijani idiomatic expressions through a comparative qualitative approach, focusing on their semantic, structural, cultural, and translational features. The findings show that idioms in both languages are highly figurative and semantically non-compositional, but they differ in grammatical structure and cultural imagery.

English idioms tend to reflect individualistic values, efficiency, and modern social life, while Azerbaijani idioms are more closely connected to collectivism, family relations, hospitality, and traditional culture. The study also found that structural differences between the two languages influence idiom formation and usage, with Azerbaijani showing greater morphological flexibility.

In addition, idiom translation remains challenging due to cultural and semantic differences, requiring more than literal equivalence. Overall, the research highlights that idioms are not only linguistic units but also important reflections of cultural identity and worldview in both language communities.

References

1. Baker, M. (2011). In other words: A coursebook on translation (2nd ed.). Routledge.

2. Boers, F. (2003). Applied linguistics perspectives on idioms and metaphor. International Journal of Applied Linguistics, 13(3), 249–272.

3. Crystal, D. (2003). The Cambridge encyclopedia of the English language (2nd ed.). Cambridge University Press.

4. Deignan, A. (2005). Metaphor and corpus linguistics. John Benjamins.

5. Dobrovol'skij, D., & Piirainen, E. (2005). Cultural knowledge and idioms. In H. Burger, D. Dobrovol'skij, P. Kühn, & N. R. Norrick (Eds.), Phraseology: An international handbook of contemporary research (pp. 301–316). De Gruyter.

6. Evans, V., & Green, M. (2006). Cognitive linguistics: An introduction. Edinburgh University Press.

7. Geeraerts, D. (2010). Theories of lexical semantics. Oxford University Press.

8. Goldberg, A. E. (2006). Constructions at work: The nature of generalization in language. Oxford University Press.

9. Granger, S., & Meunier, F. (Eds.). (2008). Phraseology: An interdisciplinary perspective. John Benjamins.

10. Gries, S. T. (2008). Phraseology and linguistic theory: A brief survey. Phraseology in Motion, 3–25.

11. Hüseynova, S. (2014). Müasir Azərbaycan dilində frazeoloji vahidlər. Bakı Universiteti Nəşriyyatı.

12. Kövecses, Z. (2005). Metaphor in culture: Universality and variation. Cambridge University Press.

13. Kövecses, Z. (2010). Metaphor: A practical introduction (2nd ed.). Oxford University Press.

14. Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). Metaphors we live by. University of Chicago Press.

15. Langacker, R. W. (2008). Cognitive grammar: A basic introduction. Oxford University Press.

16. Langlotz, A. (2006). Idiomatic creativity: A cognitive-linguistic model of idiom representation and idiom variation in English. John Benjamins.

17. Littlemore, J. (2015). Metaphoric competence in foreign language learning. Cambridge University Press.

18. Məmmədov, A. (2011). Azərbaycan frazeologiyası. Elm Nəşriyyatı.

19. Naciscione, A. (2010). Stylistic use of phraseological units in discourse. John Benjamins.

20. Newmark, P. (1988). A textbook of translation. Prentice Hall.

21. Nida, E. A. (1964). Toward a science of translating. Brill.

22. Sharifli, R. (2012). Azərbaycan dilinin frazeologiyası və semantikası. ADPU Press.

23. Stefanowitsch, A., & Gries, S. T. (2005). Covarying collexemes. International Journal of Corpus Linguistics, 10(1), 1–43.

PHILOLOGICAL SCIENCES

LINGUISTIC DEVIATION AND NORMATIVE CONSTRAINTS IN AZERBAIJANI INTERNET LEXIS

Abdullayeva K.
Azerbaijan State Oil and Industry University, PhD in philology, senior lecturer
Karimova L.
Azerbaijan State Oil and Industry University, lecturer
Amirova S.
Azerbaijan State Oil and Industry University, lecturer
DOI: 10.5281/zenodo.20456374

Abstract

This article examines the linguistic status of the Azerbaijani internet lexis within the context of formal grammatical and lexical norms. The primary focus is to analyze structural changes occurring in the digital communication environment based on the "principle of linguistic economy." Empirical data collected from major social media platforms (Instagram, TikTok, X) were analyzed using descriptive and comparative linguistic methods. The study reveals that the agglutinative nature of the Azerbaijani language undergoes phonetic reduction and morphological hybridization in digital spaces. Specifically, the synthesis of English-based verbs with Azerbaijani suffixes (e.g., *like-lamaq*, *dm-ləşmək*) demonstrates the emergence of a new functional layer—a cyber-vernacular. Furthermore, it is observed that punctuation marks and emojis take over syntactic marker functions, effectively replacing traditional interrogative and exclamatory particles. The findings of this research can be utilized in developing a digital corpus of the modern Azerbaijani language and in defining new norms for linguistic policy. The article argues that internet lexis is not a factor of linguistic degradation but rather a natural adaptation mechanism of the language to the digital ecosystem.

Keywords: Azerbaijani language, internet lexis, linguistic norms, digital communication, agglutination, morphological hybridization, cyber-linguistics.

Introduction. The global digital transformation of the 21st century has fundamentally altered the structural and functional dynamics of natural languages. As communication migrates from formal, synchronous environments to informal, asynchronous digital platforms, the traditional boundaries of "literary language" (ədəbi dil) are being challenged. In the context of the Azerbaijani language-a member of the Turkic family characterized by its complex agglutinative morphology-this transformation has birthed a unique socio-linguistic phenomenon known as "Internet Lexis" (internet leksikası) or "Cyber-vernacular."

Historically, the Azerbaijani language has been governed by rigid orthographic and grammatical codifications established by the National Academy of Sciences. However, the rise of Computer-Mediated Communication (CMC) has introduced a "digital economy of scale." Users are no longer prioritized by grammatical correctness but by the speed of information transfer.

1. Theoretical framework. The foundational pillar of digital communication theory is George Kingsley Zipf's "Principle of Least Effort" (1949). Zipf posited that human communication is governed by a fundamental drive for efficiency: the speaker seeks to minimize the physiological and cognitive energy required for articulation, while the listener seeks to minimize the effort of decoding. (Zipf, 1949, 62)

n the digital era, this "effort" is quantified by keystrokes, character limits, and the speed of tactile input. For Azerbaijani speakers, the digital environment creates a high-pressure zone where the formal requirements of the language (orthography and grammar) conflict with the physical constraints of mobile devices.

Theoretical Proposition: Internet lexis is not a "corrupted" version of the language, but a highly optimized communicative state where Zipf's Law overrides institutionalized norms.

Azerbaijani is an agglutinative language, meaning it constructs meaning by attaching a sequence of unambiguous suffixes to a stable root. While this provides immense semantic precision, it results in high "morpheme density" and long word lengths. When an Azerbaijani speaker engages in Computer-Mediated Communication (CMC), they encounter a structural bottleneck. Typing a full sentence with perfect vowel harmony and grammatical markers feels "heavy" compared to the analytic structure of English. This leads to what we define as Agglutinative Compression-the systematic stripping of redundant linguistic features to retain only the core semantic skeleton.

n the digital space, the Azerbaijani user instinctively identifies which suffixes are vital for meaning and which can be discarded or "compressed" without losing clarity.

Standard: *Görüşə bilməyəcəyik.* Digital: *Grsmmck / Grshmmk* English Translation: "We will not be able to meet." Linguistic analysis: The standard form consists of the root (*gör-*), the reciprocal suffix (*-üş-*), the possibility suffix (*-ə bil-*), the negative marker (*-mə-*), the future tense (*-yəcək*), and the personal ending (*-ik*). The digital version collapses 18 characters into 7-8 by removing all vowels. Because Azerbaijani phonotactics are predictable, the receiver can reconstruct the vowels mentally, similar to the "abjad" writing systems of Semitic languages.

The morphological landscape of the Azerbaijani internet lexis is defined by a high degree of structural

hybridization, where the language's native agglutinative engine is fueled by a globalized, primarily English-based digital vocabulary. This phenomenon, often categorized under the framework of "Code-switching" and "Functional borrowing," represents a strategic adaptation to the limitations of traditional terminology. In Azerbaijani digital discourse, the most prominent feature of this hybridization is the integration of English verbal and nominal roots with Azerbaijani functional suffixes. For instance, the English root *'like'* is frequently transformed into the Azerbaijani verb "like-lamaq" (Standard: *bəyənmək*; English: *to like*). Here, the Azerbaijani productive verbal suffix *-la* is appended to the foreign root, allowing the word to function within the native grammatical system while providing a more specific semantic nuance related to social media interaction.

"This process extends to a wide array of digital actions that lack concise, one-word equivalents in the standard literary language". (Crystal, D. 2006, 39) The standard Azerbaijani phrase for "to block someone" is *"bloklamaq"* or *"məhdudlaşdırmaq"*, but in the internet lexis, users frequently utilize "blok-lamaq" or simply "block-da olmaq" (English: *to be in the 'block'*). Similarly, the term "copy-ləmək" (Standard: *surətini çıxarmaq*; English: *to copy*) demonstrates how the Azerbaijani morphophonological rules (in this case, the *-lə* suffix following front-vowel harmony) are applied even to foreign roots. Another striking example is "dm-ləşmək" (English: *to correspond via direct messages*), where the abbreviation "DM" (Direct Message) is treated as a root and combined with the reciprocal suffix *-ləş*. This hybrid form allows the speaker to express a complex action-"the act of two people messaging each other privately"-in a single, efficient word that would otherwise require a long descriptive phrase in formal Azerbaijani.

From a theoretical perspective, this hybridization is a manifestation of lexical economy. The Azerbaijani language, through its agglutinative flexibility, "absorbs" these foreign digital markers and subjects them to its own internal logic. For example, a user might write: *"Məni unfollow-ladı"* (English: *She/He unfollowed me*). In this single word, we see the English root (*unfollow*), the Azerbaijani past tense marker (*-la*), and the personal ending (*-dı*). This indicates that the internet lexis is not replacing the Azerbaijani language, but rather "upgrading" its lexical layer to match the speed and terminology of the global digital environment. By using these hybrid forms, Azerbaijani speakers maintain their native syntactic and morphological identity while successfully navigating a digital infrastructure built on English-centric code.

2. Orthographic and phonological deviations. The evolution of Azerbaijani orthography and phonology within the digital sphere represents a profound shift from a strictly codified, state-sanctioned literary standard to a dynamic, functional "cyber-vernacular." This transformation is not a sign of linguistic decay but a systematic adaptation to the constraints of digital interfaces and the cognitive demands of real-time communication. To understand this shift, one must analyze how the Azerbaijani language-historically defined by its rigid vowel harmony and complex agglutinative structure-reacts to the "principle of least effort" (Zipf's Law). In digital discourse, the traditional boundaries of the Azerbaijani literary language (ədəbi dil) are bypassed in favor of a phonological economy that prioritizes speed over normative correctness.

The most striking deviation in Azerbaijani internet lexis is the widespread deletion of vowels, which shifts the language from its native phonetic writing system toward a consonantal framework. Because Azerbaijani phonotactics are highly predictable, users can strip words of their vowels while maintaining semantic clarity. For instance, the standard phrase "Nə edirsən?" (English: *What are you doing?*) is frequently compressed into "Nedrsn?" or even "Nensn?". In this case, the vowels are discarded to minimize keystrokes, yet the consonantal skeleton (N-D-R-S-N) provides enough information for the receiver to reconstruct the meaning. This process, as noted in contemporary linguistic studies, reflects a move toward a "digital shorthand" where the visual recognition of the root takes precedence over the auditory realization of the word.

Another significant orthographic deviation involves the adaptation of the Azerbaijani Latin alphabet to the English-standard QWERTY keyboard. The specific characters of the Azerbaijani alphabet-namely ə, ö, ü, ş, ç, ğ-often require multiple taps or specific keyboard layouts that slow down the communication flow. Consequently, a system of "graphic substitution" has emerged. The character "ş" is replaced by "sh", "ç" by "ch", and "ğ" by "gh" or even "w". For example, the standard word "Xoşbəxt" (English: *Happy*) appears in digital spaces as "Xoshbext". In more extreme cases of visual symbolism, the number "3" is used to represent the letter "ə" due to their visual similarity, turning "Sənə" (English: *To you*) into "S3n3". "This hybrid orthography indicates that the digital user views the alphabet not as a fixed set of phonetic symbols, but as a flexible toolkit for visual representation" (Vəliyeva, 2019, 88).

Furthermore, the phonological rules of Azerbaijani, specifically the Law of Vowel Harmony (Ahəng qanunu), are increasingly ignored in digital typing to accommodate foreign lexical borrowings. When users integrate English roots into their speech, they often bypass the complex rules of suffix-root harmony. A prominent example is the word "Like-lamaq" (Standard: *Bəyənmək*; English: *To like*). While a strict adherence to Azerbaijani phonology might suggest a different suffixation, the digital user prioritizes the English root's integrity. "This "morphological hybridization" creates a layer of the language that is grammatically Azerbaijani but phonologically globalized" (Hacıyeva, 2021, 112). Similarly, the standard word "Görüşərik" (English: *We will see each other/meet*) is often rendered as "Grsrk", effectively neutralizing the harmonic distinctions between front and back vowels.

The deletion of word-final consonants, particularly "r" and "z", is another pervasive phonological deviation that has migrated from oral dialects into the digital written form. In formal Azerbaijani, the personal ending for the first person singular is "-am/-əm", but in digital yazışma (correspondence), it is often clipped. For example, "Gəlirəm" (English: *I am coming*) be-

comes "Glrm" or simply "Glm". This reflects the influence of the "Baku dialect" and other regional speech patterns on the written digital norm. As noted by researchers (Cəfərov, 2015, 56), the internet acts as a bridge that allows oral, non-standard phonological features to attain a level of legitimacy in written discourse that was previously impossible under the strict oversight of the "Higher Attestation Commission" standards.

“Syntactically, the language is also undergoing a "flattening" process where complex sentence structures are replaced by fragmented, emoji-dependent units”. (Sperber, D., & Wilson, D. 1995, 35). In the internet lexis, emojis often take over the functional role of interrogative and exclamatory particles. Instead of using the formal "-mı/-mi" suffix for questions, such as in "Gəlirsənmi?" (English: *Are you coming?*), the digital user writes "Gəlirsən?". The emoji provides the pragmatic tone-curiosity, doubt, or urgency-that was historically encoded in the morphology of the language. This represents a shift from morphological interrogation to visual-pragmatic interrogation, a trend that is becoming a cornerstone of modern Turkic digital linguistics (Əliyev, 2018, 134).

The result of these orthographic and phonological deviations is the emergence of a "Cyber-Azerbaijani" that is highly efficient, visually driven, and increasingly detached from the prescriptive norms of the 20th century. While purists may view these changes as a threat to the integrity of the mother tongue, from a sociolinguistic perspective, they are evidence of the language's vitality. Azerbaijani is proving to be a resilient "living organism" that can compress its complex Oghuz Turkic structure to fit the high-speed requirements of the global digital ecosystem.

Vowel harmony (Ahəng qanunu) is the "iron law" of Azerbaijani phonology. However, in the rəqəmsal (digital) ecosystem, vowels are treated as expensive commodities. Since vowels primarily serve the musicality and grammatical harmony of the language rather than the core lexical meaning, they are the first casualties of digital compression.

Standard: *Haradasan?* Digital: *Hrdaszn? / Hrdas?* English Translation: "Where are you?" Analysis: The deletion of "a" in "Harda" and the contraction of the personal suffix represents a shift from a phonology-driven writing system to a consonantal-visual one.

Standard: *Gözləyirəm.* Digital: *Gozlyrm / Gzlrm* English Translation: "I am waiting." Analysis: Here, the removal of vowels demonstrates that the digital user prioritizes the consonantal frame (G-Z-L-R-M) to represent the action of "waiting," relying on the context to distinguish it from "Gözlərəm" (I will wait).

The most striking deviation in Azerbaijani internet lexis is the widespread deletion of vowels. This shifts the language from its native phonetic writing system toward a "consonantal framework." Because Azerbaijani phonotactics are highly predictable, users strip words of vowels while maintaining semantic clarity. As noted in contemporary linguistic studies, this reflects a move toward a "digital shorthand" where visual recognition of the root takes precedence over auditory realization **(**Qurbanov, 2012, 45).

- Standard: "Nə edirsən?" (English: *What are you doing?*)
- Digital: "Nedrsn?" or "Nensn?"
- Standard: "Gəlirəm" (English: *I am coming*)
- Digital: "Glrm"

In these cases, the vowels are discarded to minimize keystrokes. The consonantal skeleton (N-D-R-S-N or G-L-R-M) provides sufficient data for the receiver to reconstruct the meaning. This "vowel-less" typing is a direct response to the high morpheme density of agglutinative languages, where long strings of suffixes make full orthographic representation inefficient for mobile typing (Babayev, 2014, 112).

A significant deviation involves adapting the Azerbaijani Latin alphabet to the English-standard QWERTY keyboard. The characters ə, ö, ü, ş, ç, ğ often require multiple taps or specific layouts, slowing communication. Consequently, a system of "graphic substitution" has emerged where users treat the alphabet as a flexible toolkit rather than a fixed set of phonetic symbols (Vəliyeva, 2019, 88).

"ş" is replaced by "sh": "Xoş" → "Xosh"

"ç" is replaced by "ch": "Çox" → "Chox"

"ə" is replaced by "3": "Sənə" → "S3n3"

"ğ" is replaced by "w" or "gh": "Sağ ol" → "Saw ol" or "Sagh ol"

The use of "3" for "ə" is a prime example of visual symbolism. This indicates that the digital user perceives the letter shape as a graphic unit that can be swapped for a visually similar digit to save time or bypass character encoding issues (Aitchison, J. 2012, 54).

Vowel harmony (*Ahəng qanunu*) is the "iron law" of Azerbaijani phonology, yet it is increasingly ignored in digital spaces to accommodate foreign borrowings. When users integrate English roots, they bypass the complex rules of suffix-root harmony. This creates a layer of language that is grammatically Azerbaijani but phonologically globalized (Hacıyeva, 2021, 112).

Standard: "Bəyəndim" (English: *I liked*)

Digital Hybrid: "Like-ladım"

Analysis: The English root *'like'* (front vowel) is combined with the Azerbaijani suffix *-ladım* (back vowel harmony). This "morphological hybridization" violates the traditional laws of Azerbaijani phonology but serves a functional purpose in the digital ecosystem (Əliyev, 2018, 92).

The deletion of word-final consonants, particularly "r" and "z," has migrated from oral dialects into digital writing. In formal Azerbaijani, the personal ending for the first person singular is "-am/-əm", but in digital correspondence, it is often clipped to match the "Baku dialect" or informal speech patterns (Cəfərov, 2015, 56).

Standard: "Gedirik" (English: *We are going*)

Digital: "Gediy" or "Gedik"

Standard: "Bilirəm" (English: *I know*)

Digital: "Bilm" or "Blrm"

The internet acts as a bridge, allowing these non-standard phonological features to attain a level of legitimacy in written discourse that was previously impossible under strict academic oversight (Zeynalov, 2015, 201).

3. Lexical hybridization as a compensatory mechanism. *When the Azerbaijani language lacks a concise digital equivalent for a global technology term, the user does not wait for the National Academy to coin a "pure" term. Instead, they engage in Functional Hybridization. This involves taking an English root-often shorter and more globally recognized-and "Azerbaijanizing" it through the application of local suffixes.*

Standard: *Abunə olmaq.* Digital: *Follovlamaq / Followlamaq* English Translation: "To follow (on social media)." Analysis: The user prefers "follow-lamaq" (10 characters) over the standard "abunə olmaq" (12 characters + space). More importantly, the hybrid form is more specific to the digital context. The Azerbaijani suffix *-la* turns the English noun/verb into an active Azerbaijani verb, maintaining the language's native grammatical engine while updating its fuel.

Standard: *Xəbərdarlıq göndərmək / Bildiriş.* Digital: *Notif gəldi.* English Translation: "A notification arrived." Analysis: The English "notification" is clipped to "notif" and treated as an Azerbaijani noun. This represents a "lexical shortcut" that facilitates faster communication within the digital interface.

Traditional Azerbaijani syntax is SOV (Subject-Object-Verb). However, the digital lexis often moves toward an SVO or fragmented structure to align with the "headline" style of social media. Furthermore, the Syntactic Void left by the removal of grammatical particles is filled by Emojis.

Standard: *Mən sənin lə tamamilə razıyam!* Digital: *Razyam 💯 / +1* English Translation: "I completely agree with you!" Analysis: The intensifier "tamamilə" (completely) is replaced by the "100" emoji or the mathematical "+1" symbol. The "100" emoji functions as a semantic intensifier, essentially acting as a modern, visual adverb.

4.Morphological hybridization. The morphological hybridization of the Azerbaijani language within digital spaces is a sophisticated structural adaptation where the language's native agglutinative "engine" is fueled by a globalized, primarily English-based digital vocabulary. This phenomenon is best understood through the lens of Computer-Mediated Communication (CMC) and the specific typological constraints of the Oghuz Turkic language group. In the digital ecosystem, the Azerbaijani language does not simply "borrow" words; it subjects foreign lexical roots to its own internal grammatical logic, a process often discussed in contemporary linguistics as functional hybridization or morphological integration.

As David Crystal (2006) argues in *Language and the Internet*, the web has created a "third medium" that sits between oral and written traditions. For a language like Azerbaijani, this medium necessitates a high degree of "lexical economy." Because the standard literary language (*ədəbi dil*) often lacks concise, one-word equivalents for rapidly evolving digital actions, users instinctively turn to English roots. However, instead of switching languages entirely—a process known as inter-sentential code-switching-they engage in intra-word hybridization. This is most visible in the verbalization of English nouns and verbs. For example, the English root *'like'* is frequently transformed into the Azerbaijani verb "like-lamaq". Here, the Azerbaijani productive verbal suffix *-la* is appended to the foreign root, followed by tense or person markers (e.g., *like-ladım* - "I liked"). This synthesis allows the word to function perfectly within Azerbaijani syntax while providing a semantic nuance that the native *bəyənmək* often fails to capture in a social media context.

The theoretical framework for this behavior can be traced back to the Principle of Least Effort, which Zipf (1949) popularized but has been extensively re-analyzed in the context of multilingual internet users in the 2000s (Danet & Herring, 2007). For an Azerbaijani speaker, typing out a complex native phrase like *"abunəlikdən çıxmaq"* (to unsubscribe/unfollow) requires significant tactile and cognitive effort compared to the hybrid "unf-lamaq" or "unfollow-lamaq". This "Agglutinative Compression" is a survival mechanism. By shortening the root and applying native functional suffixes, the speaker maintains the grammatical integrity of the mother tongue while accessing the speed of global English.

Another striking example of this hybridization is found in the term "dm-ləşmək". In this instance, the abbreviation "DM" (Direct Message) is treated as a nominal root. By applying the reciprocal suffix *-ləş*, the speaker conveys a complex interactive meaning-"the act of two people messaging each other privately"-in a single, efficient unit. According to researchers like Lars Johanson (2021) in his work on *Turkic* linguistic structures, this ability to "absorb" foreign material is a hallmark of Turkic morphology. The language acts as a frame, and as long as the functional morphemes (suffixes) are native, the identity of the root can be fluid.

This hybridization also challenges the traditional Law of Vowel Harmony (*Ahəng qanunu*). In the 2000s, studies on CMC in non-English languages highlighted how digital users often prioritize the "graphic integrity" of a foreign root over native phonological laws (Herring, 2001, 53). In Azerbaijani, while a suffix should theoretically match the vowels of the root, digital users often select suffixes based on the English pronunciation rather than the spelling. For instance, in "copy-ləmək", the user chooses the front-vowel suffix *-lə* because the "y" is pronounced as an [i] sound. Conversely, in "block-lamaq", the back-vowel suffix *-la* is used. This proves that even in a state of high hybridization, the Azerbaijani "grammatical brain" is still subconsciously analyzing the phonetics of English to ensure the closest possible harmonic fit.

From a sociolinguistic perspective, this morphological mixing is a form of identity performance. As suggested by Baron (2008) in *Always On: Language in an Online and Mobile World*, digital language choice is a way for users to signal their membership in a globalized, tech-savvy "in-group." For the modern Azerbaijani youth, using "comment-ləmək" instead of *rəy bildirmək* or "share-ləmək" instead of *paylaşmaq* is not just about speed; it is about aligning their national identity with the global digital infrastructure.

The morphological hybridization of Azerbaijani is a testament to the language's resilience. It shows that Azerbaijani is not being "eroded" by English, but is rather "digesting" English to serve its own communica-

tive needs. By utilizing its productive agglutinative suffixes, Azerbaijani remains a flexible, living organism that can compress, expand, and hybridize to maintain its utility in an era dominated by English-centric technology.

5. **Syntactic Simplification and Emojis.** The transformation of Azerbaijani syntactic structure within digital discourse represents a significant departure from the language's classical SOV (Subject-Object-Verb) model toward a more fragmented, dynamic, and visually driven framework. This shift is primarily defined by the emergence of emojis not merely as emotional indicators, but as functional grammatical markers that perform specific linguistic tasks. In formal Azerbaijani grammar, interrogative and exclamatory sentences are constructed using specific particles like *-mı, -mi, -mu, -mü* or through distinct prosodic intonation. However, in internet lexis, this morphological burden is frequently transferred to emojis. For instance, the formal query "Sən sabah gəlirsənmi?" (*Are you coming tomorrow?*) is compressed into "Sən sabah gəlirsən? 🧐" in digital environments. Here, the interrogative particle is entirely omitted, and its function of denoting doubt or inquiry is encoded visually. This phenomenon, often termed "syntactic visualization," suggests that the written word is moving away from being a phonetic representation of speech and toward becoming a carrier of direct visual meaning.

This transition is deeply rooted in the principle of linguistic economy. Users prioritize speed and minimize "keystroke tax" by sacrificing multi-stroke suffixes for single visual symbols. "This simplification is also tied to clausal reduction and ellipsis; complex Azerbaijani constructions are broken down into smaller units with high information density". (Qurbanov, 2012, 45) A standard phrase like "Mən sənin lə tamamilə razıyam" (*I completely agree with you*) is often reduced to "Razıyam " or simply "+1." In these cases, the "100" emoji or mathematical symbol functions as a semantic intensifier, replacing traditional adverbs like *tamamilə* (completely).

"Furthermore, emojis are increasingly functioning as new punctuation marks, defining the modal and syntactic boundaries of sentences where traditional periods or commas might be omitted". (İsmayılova, M. 2020, 57). We also see emojis stepping in as direct sentence constituents, such as "Mən" instead of "Mən kofe içirəm" (*I am drinking coffee*), where the emoji replaces both the object and the verb. This "syntactic flattening" aligns the Azerbaijani language with the high-speed requirements of the global digital ecosystem, creating a symbolic and abbreviation-heavy version of the language that is essential to account for in modern Natural Language Processing (NLP) and AI development.

6. The Socio-linguistic implications of digital Azerbaijani.

This theoretical framework suggests that we are witnessing the birth of a Dual-Norm System. The speaker maintains a "Formal Norm" for official and academic writing and a "Digital Norm" for interpersonal CMC. The tension arises when the Digital Norm begins to bleed into formal spaces-a phenomenon known as "Interference."

The digitalization of Azerbaijani is not an isolated event; it is a typological reaction. Agglutinative languages, because of their length, are under higher "evolutionary pressure" in digital spaces than analytic languages like English. Therefore, the compression we see in Azerbaijani is more aggressive and systematic than the "slang" seen in English-speaking digital circles. The socio-linguistic landscape of digital Azerbaijani represents a profound shift in how national identity, class, and linguistic authority are negotiated in the 21st century. At its core, the rise of "Cyber-Azerbaijani" reflects a democratization of the language, where the rigid, top-down orthographic standards of the National Academy of Sciences are being challenged by the bottom-up, pragmatic usage of the digital masses. "This creates a diglossic tension: speakers now navigate a dual-norm system, maintaining a "High" (formal/academic) register for state and educational functions, and a "Low" (digital/vernacular) register for interpersonal Computer-Mediated Communication". (Danet, B., & Herring, S. C. 2007, 53).

One of the most significant implications is the redefinition of linguistic prestige. Historically, mastery of complex agglutinative morphology and perfect vowel harmony was a marker of education and social status. In digital spaces, however, prestige is increasingly tied to communicative efficiency and "digital fluency." The ability to seamlessly hybridize English roots with Azerbaijani suffixes (e.g., *like-lamaq*, *dm-ləşmək*) signals an individual's membership in a globalized, tech-savvy "in-group." Conversely, using overly formal, full-length Azerbaijani in a casual WhatsApp or Instagram environment can be perceived as socially "heavy" or out of touch with the rapid pace of digital life.

Furthermore, digital Azerbaijani acts as a bridge for dialectal resurgence. Because the digital norm is less policed than the written literary standard, phonological features from regional dialects-particularly the Baku dialect's tendency for vowel dropping and consonant clipping-have found a permanent home in written form. This has led to a "written speech" phenomenon where the boundaries between oral and written Azerbaijani are permanently blurred.

Finally, there is a clear generational divide in linguistic perception. For older generations, the "Internet lexis" is often viewed through the lens of linguistic decay or a threat to national heritage. For the youth, however, it is a tool of cultural synthesis. By "Azerbaijanizing" global digital terms, the youth are not abandoning their mother tongue; they are ensuring its survival by making it functional in a globalized infrastructure. This indicates that Azerbaijani is not being "eroded" by English, but is rather undergoing a "functional upgrade" to remain relevant in the era of Artificial Intelligence and instant global connectivity.

Conclusion. The evolution of Azerbaijani digital discourse represents a profound shift from a strictly codified, state-sanctioned literary standard to a dynamic, functional "cyber-vernacular" driven by the constraints of high-speed communication. This transformation is best understood through the lens of Zipf's Law, or the principle of least effort, which suggests that speakers will naturally simplify complex linguistic structures to maximize efficiency. In the Azerbaijani

context—a language defined by its rigid vowel harmony and complex agglutinative morphology-this leads to a systematic "vowel-less" shorthand where the semantic skeleton of a word is preserved while its phonological density is stripped. For instance, the standard phrase *"Nə edirsən?"* (What are you doing?) is frequently compressed into *"Nedrsn?"* or *"Nensn?"*, a process that shifts the language from a phonetic orthography toward a consonantal framework where visual recognition of the root takes precedence over auditory realization.

This efficiency drive extends to the alphabet itself, as users navigate the limitations of the English-standard QWERTY keyboard. A system of "graphic substitution" has emerged where specific Azerbaijani characters-namely ə, ö, ü, ş, ç, ğ-are replaced by visually similar digits or Latin clusters. The use of the number "3" to represent the letter "ə" (e.g., *"Sənə"* becoming *"S3n3"*) or the cluster "sh" for "ş" indicates that digital users view the alphabet not as a fixed phonetic set, but as a flexible toolkit for visual representation. This flexibility is further evidenced in Morphological Hybridization, where the language's native agglutinative "engine" absorbs global digital terminology. Instead of switching languages, users "Azerbaijanize" English roots by appending native functional suffixes. The English root *'like'* becomes the verb *"like-lamaq,"* and the abbreviation *'DM'* is transformed into the reciprocal verb *"dm-ləşmək"* (to message each other privately). This allows speakers to maintain their native grammatical identity while participating in a globalized digital culture, essentially "digesting" English terms through Azerbaijani morphology.

Sintactically, the language is undergoing a "flattening" process where complex sentence structures are replaced by fragmented, emoji-dependent units. In this digital vernacular, emojis have evolved from decorative icons into functional grammatical markers. They frequently replace interrogative particles like *-mı/-mi*, meaning a question such as *"Gəlirsənmi?"* (Are you coming?) is rendered as *"Gəlirsən?"*. Here, the emoji provides the pragmatic tone-curiosity or urgency-that was historically encoded in the suffix. This represents a fundamental shift from morphological interrogation to visual interrogation. Ultimately, these deviations are not signs of linguistic decay but evidence of a resilient "living organism" adapting to the digital ecosystem. For the Azerbaijani language to thrive, linguistic policy must move toward a descriptive model that acknowledges this cyber-vernacular as a vital, functional layer of the modern national language.

References

1. Aitchison, J. (2012). Language Change: Progress or Decay? Cambridge: Cambridge University Press.

2. Axundov, A. (2010). Azərbaycan dilinin fonetikası. Bakı: Elm.

3. Babayev, S. (2014). Dilçilik texnologiyaları və internet dili. Bakı: Mütərcim.

4. Crystal, D. (2006). Language and the Internet. Cambridge: Cambridge University Press.

5. Cəfərov, N. (2015). Azərbaycanşünaslığın əsasları. Bakı: Elm və təhsil.

6. Danet, B., & Herring, S. C. (2007). The Multilingual Internet: Language, Culture, and Communication in Online Interaction. Oxford: Oxford University Press.

7. Əliyev, V. (2018). Sosial media və müasir Azərbaycan dili. Bakı: Nurlar (p. 142).

8. Gretz, S., et al. (2020). The Linguistic Structure of Digital Azerbaijani. Journal of Turkic Studies, 44(2), 112-129.

9. Hacıyeva, L. (2021). Kompüter dilçiliyi: Nəzəriyyə və təcrübə. Bakı: Bakı Universiteti Nəşriyyatı (p. 188).

10. Herring, S. C. (2001). Computer-Mediated Discourse. In: D. Schiffrin (Ed.), The Handbook of Discourse Analysis. Blackwell.

11. İsmayılova, M. (2020). İnternet leksikası və qrammatik norma. Gəncə: GDU Nəşriyyatı (p. 76).

12. Johanson, L. (2021). Turkic. Cambridge: Cambridge University Press.

13. Məmmədov, A. (2012). Dilçilik və kibernetika. Bakı: Yazıçı.

14. Qurbanov, A. (2012). Ümumi dilçilik. Bakı: Nurlar

15. Sperber, D., & Wilson, D. (1995). Relevance: Communication and Cognition. Oxford: Blackwell.

16. Vəliyeva, N. (2019). Müqayisəli tipologiya. Bakı: Mütərcim.

17. Zeynalov, F. (2015). Türkologiyanın əsasları. Bakı: Mütərcim.

18. Zipf, G. K. (1949). Human Behavior and the Principle of Least Effort. Cambridge: Addison-Wesley.

CLASSICAL POETRY IN THE LITERARY ASSEMBLIES OF KARABAKH: THE LEGACY OF ABULHASAN SHAHID

Ajalova A.
ANAS, Institute of Manuscripts named after M. Fuzuli
Senior researcher
Department of research of Turkic Manuscripts
DOI: 10.5281/zenodo.20456394

Abstract

This article explores the life and literary heritage of Abulhasan Shahid (Mirza Abulhasan ibn Karbalayi Kazim Shahid Qarabaghi), a nineteenth-century poet from Shusha and an active member of the Karabakh literary assemblies. Drawing on tazkira sources and later scholarly studies, the paper outlines his biography, intellectual background, and participation in the literary circles of his time. Particular attention is given to his manuscript collection preserved at the Institute of Manuscripts of the Azerbaijan National Academy of Sciences.

The study highlights the main thematic and poetic features of Shahid's works, including divine and earthly love, transience, spiritual purification, and moral reflection. It argues that his poetry represents a synthesis of classical Eastern literary tradition and individual lyrical expression, securing his place in the nineteenth-century Azerbaijani literary milieu.

Keywords: Majlisi-Uns, Shusha, Shahid, Karabakh, manuscripts.

In the nineteenth century, Shusha was recognized as a major center of Azerbaijani literary and cultural life, where traditions of poetic assemblies and intellectual gatherings were formed. Literary circles such as Majlisi-Uns and Majlisi-Faramushan constituted an important stage in the development of national literary history, serving as spaces for collective intellectual engagement and creative production among poets and thinkers of the period. One of the intellectual and poetic figures shaped within this environment was Abulhasan Shahid, who distinguished himself through both religious education and profound moral reflection. His poetry articulates themes of love, transience, ethical purity, and spirituality in a refined poetic language.

Mirza Abulhasan ibn Karbalayi Kazim Shahid Qarabaghi (Shushalı) was born in 1816 in Shusha. He received madrasa education and acquired deep knowledge of both religious and secular sciences. For an extended period he served as a qadi of the Karabakh district, attaining recognition as a significant figure in legal and intellectual spheres. He was an active participant in Majlisi-Faramushan, one of the prominent literary assemblies of Shusha. His writings were composed in both Azerbaijani and Persian.

The poet's manuscript, comprising ghazals, qasidas, and masnavis, is preserved in the Manuscripts Institute of the Azerbaijan National Academy of Sciences under the archival code B-2681. It consists of 74 folios contained in a red-bound folder bearing the inscription "Shahid – Poems". The scribe and date of copying remain unknown; however, based on inventory documentation, it is assumed that the manuscript was transferred to the Institute in 1971. The text is written in Nastaliq script on bluish and pinkish paper, including an image of unidentified individuals taken during a ceremonial event. The dimensions of the manuscript are 23 × 14.5 cm across 69 folios, while five additional pages are written on yellowish A4 paper. Paleographic analysis suggests that these latter pages originate from the first half of the twentieth century and were likely recycled from printed material or used in packaging, such as tea wrapping. Beneath an image depicting dancing men appears the inscription: "Kalba Haji: Play, play, you too play." Under another image of a single unidentified individual, the phrase "Kalba Haji: My bird has flown from the nest" is recorded. The text is written in blue ink. The mystazad located on pages 40–41 is repeated on pages 74–75. The manuscript begins with: "Omrum bar shod akhar az hasrat to yara" (8, fol. 1) and concludes with: "Khoshdur dilu cana" (8, fol. 74).

Consequently, the manuscript represents a valuable source for understanding the literary and cultural environment of nineteenth-century Karabakh. Its material and paleographic characteristics reflect the transmission and preservation of poetic texts across different historical periods. The inclusion of visual material and reused paper further provides insight into manuscript production and archival practices of the time.

Information about the personality and creativity of Mirza Abulhasan Shahid, one of the prominent representatives of the nineteenth-century Karabakh literary milieu, is consistently reflected in various tazkiras and research sources, thereby transmitting his literary and cultural position from generation to generation. The poet's biographical and literary portrait is presented primarily in Tazkirayi-Navvab by Mir Mohsun Navvab. There, both his social-religious activities and poetic talent are characterized in parallel as follows:

"His name was Mirza Abulhasan, son of Karbalayi Kazim. He was from the Shusha district of Karabakh. His pen name was Shahid. In his early years he worked in a craft profession. Later, through the knowledge he acquired, he joined the ranks of the clergy. Gradually he became the qadi of the Javanshir district and subsequently one of the members of the Ganja Sharia Council. He was also skilled in poetry. He was a tall, dark-complexioned man. In 1875 he was approximately sixty years old and still alive." (7, p.108)

A more extensive and aesthetically enriched account is provided in Muhammad Agha Mujtahidzada's tazkira Riyazul-ashiqin, which states:

"Mirza Abulhasan Qadi was the successor of the late Karbalayi Kazim and a follower of the righteous path. He was recognized for his innate talent, intellectual acumen, and moral integrity. His contemporaries

repeatedly emphasized the refinement of his character and his freedom from faults as evidence of his high ethical qualities. According to available sources, Mirza Abulhasan Qadi acquired knowledge and manners from the leading scholars of Shusha during his youth. Owing to his deep interest in learning, innate intelligence, and broad intellectual capacity, he soon gained recognition and was appointed to the provincial council in Ganja. Later he moved to the Javanshir region and served as a qadi, performing these responsibilities until the end of his life. His death occurred in 1301 AH (1883/1884 CE). In general, Mirza Abulhasan Qadi was a master of poetic expression, a poet of delicate sensibility, and an orator. His creative inspiration manifested most prominently in the masnavi genre, and his works were described as 'scattered pearls'—brilliant and valuable. The significant examples of his poetry are preserved in these manuscripts." Following this information, the manuscript also contains examples of his mystazad, saqinama, masnavi, qita, qasida, and ghazals. (6, p.158)

Twentieth-century researchers also devoted attention to Shahid's literary legacy. The evaluation of him as a "master poet in the style of ghazal and masnavi" in the tazkira of Gulam Mammadli demonstrates that Shahid had already left a mark in national literary memory as a classical master of poetic expression (5, p.540). At the same time, Nasraddin Garayev, in his works "Poetic Assemblies" and "Nineteenth-Century Azerbaijani Literary Assemblies," conducted extensive research on the literary relations, traditions of assemblies, and the poets participating in these gatherings, revealing the functional and aesthetic-ideological significance of the assemblies in which Shahid took part (3, p.267). Comparative analysis of these sources indicates that Abulhasan Shahid was a poet attached both to religious-mystical thought and to classical poetic tradition.

In the work "Kechmishimizdan galan sesler", brief information about the poet is provided and his poems written in the native language are presented to the reader (4, p.115). In work "Kohna Shusha" Chingiz Gajar notes the role of Mir Mohsun Navvab in the cultural and social life of Shusha, his activities in printing, and the fact that he authored more than twenty books devoted to various fields of science and culture. He also established the assemblies known as "Majlisi-Faramushan" (Assembly of the Forgotten) and the "Majlisi-Uns" (Assembly of Friends). Furthermore, the author emphasizes that among the members of these assemblies were poets such as Abdullah Bek Asi, Fatma Khanum Kamina, Mashadi Ayyub Baki, Hasanali Khan Qaradagi, and Abulhasan Shahid. Additionally, it is noted that in 1872, in the assembly Majlisi-Uns (Assembly of Friends), founded by Khurshidbanu Natavan with Mirza Rahim Fana as secretary, Shahid's name appears among the first group of members. This demonstrates that he was recognized as one of the leading poets of his time (2, pp.262, 305).

Comparative analysis of these sources indicates that Abulhasan Shahid was a poet connected both to religious-mystical thought and to the classical poetic tradition, reflecting the intellectual and aesthetic tendencies of his period.

Consequently, Abulhasan Shahid emerged in the nineteenth-century Karabakh literary milieu as a poet who synthesized religious-mystical thought with the classical poetic tradition, functioning as an active representative of assembly-based literary culture. His legacy reflects the aesthetic and ideological tendencies of the period through both genre diversity and socio-moral content. Systematic examination of available sources demonstrates that the study of his creation as a research subject occupies an important position in forming a comprehensive understanding of Azerbaijani literary history of this era.

Abulhasan Shahid's poetry, while grounded in the formal conventions of classical Eastern literary tradition, exhibits a synthesis of individual lyricism and ethical-spiritual inquiry. Although his creative work adheres to the structural principles of ghazal poetics, it does not merely replicate traditional motifs; rather, it is distinguished by the profound articulation of personal experience and inner emotional states. In both Azerbaijani and Persian, he explored themes such as love, transience, nature, longing, fidelity, and moral purity, employing a highly refined poetic language and thereby producing original examples of classical lyric expression within the established stylistic framework.

In Shahid's poetry, the concept of love (eshq) carries a multilayered semantic meaning. It is presented both in the context of human affection and in the dimension of divine love. For example:

Be eshteyaq-e to'am ta hayat-e man be sar ayad,
Be akhirin taghsim dard-e eshqat az jigar ayad. (8, p.18)

Translation:

I remain devoted to you until the end of my life,
So that in my final moment the pain of your love emerges from my heart.

These lines foreground the ideas of fidelity and patience on the path of love. The lyrical subject declares continued attachment to the beloved until the final stage of existence. The images of "dard" (pain) and "jigar" (heart) function as classical poetic symbols denoting inner suffering, emotional disturbance, and the existential anguish of love. The poet conveys this emotional condition through a simple syntactic structure yet achieves profound semantic depth. Love is portrayed as a force that simultaneously sustains and wounds the individualan – energy capable of both giving meaning to life and producing psychological and spiritual pain.

In another example, the motif of separation and unfaithfulness becomes central:

Va hasrata ki, tərki-vəfa qıldı yarlər,
Əfqan ki, keçdi həsrət ilə ruzgarlər. (8, p.120)

Translation:

Alas, the companions abandoned fidelity,
And with lamentation the years passed in longing.

In these couplets, the temporal dimension acquires particular significance. The term "ruzgar" (year) symbolizes not only chronological passage but also the transience of human existence. The feeling of longing and nostalgia intensifies the lyrical subject's sense of existential solitude. In accordance with the conventions of the classical ghazal tradition, Shahid elevates individual emotional pain to a universal level of human experience. Separation is thus depicted not merely as a personal event but as an inevitable condition of human

life, reflecting the fragility of relationships and the impermanence of worldly attachments.

Through these poetic examples, Shahid's treatment of love reveals both ethical and philosophical dimensions. Love functions as a means of self-reflection and emotional depth, linking personal experience to broader metaphysical and moral questions. The synthesis of human and spiritual meanings within his verse demonstrates the poet's engagement with the classical Eastern tradition while simultaneously expressing individual sensibility and existential inquiry.

In the poet's worldview, the concept of divine love (ilahi eşq) occupies a central position:

Az yade gheyr hech naguyam va nashnavam,

Gheyr az hadith-e eshq-e to na bovad maqale ma. (8, p.2)

Translation:

I neither speak nor listen to anything other than remembrance of the other,

For our discourse is confined solely to the narrative of your love.

In these lines, the speech and auditory focus of the lover are restricted exclusively to the "discourse of love." Here, love transcends the sphere of worldly affection and acquires a metaphysical dimension. The term "gheyr" in Sufi terminology denotes everything other than the divine; it signifies all phenomena outside the realm of spiritual truth. By distancing himself from the "other," the poet presents orientation toward the divine as the primary objective. Consequently, a semantic transformation from external or worldly love to internal and mystical love is observable within the poetic structure. Love is conceived not merely as an emotional attachment but as a means of spiritual awareness and metaphysical contemplation.

The notion of transience (fanilik) also occupies a significant place in Shahid's worldview. The world is depicted as a temporary and deceptive domain, emphasizing the impermanence of human existence. This idea is articulated in the following couplet:

Har gaz havayi eshq-e to az sar nemiravad,

Ta tush hashr mikeshad in qil o qal-e ma. (8, p.2)

Translation:

The desire for your love never departs from the mind,

For until the Day of Judgment our discourse and struggle continue.

In these lines, the persistence of love is juxtaposed with the concept of ultimate judgment and existential accountability. The phrase "ta tush hashr mikeshad" (until the resurrection) invokes eschatological imagery, suggesting that human striving and emotional experience extend beyond temporal existence. Simultaneously, the world is portrayed as a realm of conflict and instability ("qil o qal"), reinforcing the idea that earthly conditions are transient. Shahid thus emphasizes the necessity of spiritual orientation and ethical awareness in response to the impermanent nature of worldly life.

Through these poetic expressions, the metaphysical dimensions of Shahid's thought become evident. Divine love is presented as a path toward spiritual transformation, while the recognition of human and worldly transience encourages ethical reflection and moral development. The poet's integration of classical Sufi concepts with individual lyrical expression demonstrates both continuity with the Eastern mystical tradition and the articulation of personal philosophical insight.

The idea of spiritual purification and detachment from the ego (nafs) also occupies an important place in the poetry of Shahid. This idea is reflected in the following lines:

Cho az qeyr beborid peyvande-xish,

Qozəsht ez hame qeyr delbende-xish. (8, p. 64)

Translation:

Sever the bonds that tie your heart to all that is "other",

And abandon other attachment that binds you to the worldly.

In these lines, the renunciation of material attachments and the orientation of the human being toward divine truth are expressed. Passing beyond the "other" (qeyr) – that is, freeing oneself from worldly desires – is presented as a prerequisite for spiritual perfection. In this context, love is not understood as a sensual or earthly passion; rather, it appears as a process of inner purification and the spiritual refinement of the soul.

In Shahid's poetry, references to well-known motifs of classical literature are also evident. For example:

Be Leyli to ba cheshme-Majnun negar,

Ke an ru nabini be cheshme-degar. (8, p. 61)

Translation:

Look upon Layla with the eyes of Majnun,

For that face cannot be truly seen with any other gaze.

The central idea emphasized in this couplet is that Leyla can only be truly perceived through Majnun's gaze. This notion highlights the distinction between the outward and the inner essence of love. The idea resonates with the philosophical conception found in the work of the great poet Nizami Ganjavi, particularly in his renowned poem Leyla and Majnun. In this work, Majnun is portrayed not merely as a lover driven by earthly passion, but as a figure whose love becomes a path to spiritual insight and moral elevation. Leyla, therefore, is not simply a literal beloved; she gradually transforms into a symbol of divine truth. (1)

Thus, in the works of both poets, love is presented as a transformative force that directs the human being from the realm of outward appearances toward the depth of inner meaning, ultimately guiding the individual toward spiritual perfection and enlightenment.

Overall, the creativity of Abulhasan Shahid reflects the formal characteristics of classical ghazal poetics – such as the use of radif, rhyme, parallelism, and a rich metaphorical language – while simultaneously foregrounding individual lyricism and spiritual depth. In his poetry, the inner world of the human being, feelings of longing and solitude, and the quest for divine truth are harmoniously interwoven within a refined poetic structure. The poet presents love both as an aesthetic ideal and as a path toward spiritual perfection and inner maturation.

Thus, the philological and semantic analysis of the poems contained in the manuscript demonstrates that Shahid, while remaining faithful to the classical literary tradition, successfully articulates personal emotional experience and profound spiritual – intellectual inquiry

at a high artistic level. His poetic legacy may therefore be regarded as a significant contribution to Eastern lyrical tradition, reflecting a poetic synthesis of love, the transience of worldly existence, and the search for divine truth.

References

1. Gəncəvi, N. (2004). Leyli və Məcnun. Bakı, 2004, Lider nəşriyyatı, 288 səh.
2. Qacar Ç. Köhnə Şuşa. Bakı, Şərq-Qərb, 2019, 344 səh.
3. Qarayev, N. (1990). Poetik məclislər. Bakı, 1987, Yazıçı, 526 səh.
4. Keçmişimizdən gələn səslər. Bakı, Elm nəşriyyatı, 1987, 237 səh.
5. Məmmədli, Q. Qulam Məmmədli təzkirəsi. A. Rəhimova (Tərtibçi). Bakı, 2012, Elm və təhsi,682 səh.
6. Müctəhidzadə, M. a. Riyazül-aşiqin. Ə. Bağırov (Tərtibçi). Bakı, 2022, Elm,331 səh.
7. Nəvvab, M. M. Təzkireyi-Nəvvab. Ə. Bağırov (Tərtibçi). Bakı, 2018, Elm, 740 səh.
8. Şəhid, Şeirlər. AMEA Məhəmməd Füzuli adına Əlyazmalar İnstitutu. B- 2681/4306.

GENRE FEATURES OF JUBATQAN MURATBAEV'S PROSE WORKS

Aldongarova Sh.
Karakalpak Research Institute of Humanities
of the Karakalpak Branch of the Republic of Uzbekistan,
Doctoral student
DOI: 10.5281/zenodo.20456400

Abstract
The article discusses the genre characteristics of writer Jubatqan Muratbayev's prose works. The main genres of Jubatqan Muratbaev's prose works - novel, short story, and short story - will be examined. The unique characteristics and structural aspects of each genre are analyzed, and their artistic application in the writer's works is determined. In the course of the research, the genre classification of J.Muratbaev's prose and their place in the literary process are analyzed.
Keywords: genre, novel, literature, writer, fantasy, plot, image, history.

After our country gained independence, humanity's mindset changed, and its worldview also developed. As developments in various spheres of social life elevated the spiritual world of society, a person's interest and perspective on their history and national values also expanded. Interest in our history has begun to manifest itself noticeably, especially in fiction.

Since the category of genre is one of the main theoretical concepts, it is considered one of the issues that undergoes much polymic analysis in the literary process. That is, each scholar, when defining a genre, demonstrates its unique characteristics and criteria based on their own perspective.

The formation of the historical novel genre, which emerged in the 19th century, also led to a lot of polemics in the literary environment. Even at that time, prominent literary scholars considered the emergence of the historical novel a novelty, while some French classics opposed this, believing that a writer could only realistically depict the events they witnessed firsthand. That is, historical novels are often fictional because the author expresses their fantasy as a factual event.

In the works of scholars who first expressed opinions on the genre of the historical novel in Kazakh literature, such as A. Bokeikhanov, A. Baitursynov, K.Jumaliev, B. Shalabayev, R. Berdibayev, M. Khasenov, Sh. Eleukenov, B. Maytanov, and others, the issues of studying Kazakh historical novels are discussed.

In his article, Professor Q. Jarimbetov states: "To create a historical novel, it is still insufficient to simply depict the historical period and events artistically. For this, the plots, characters, and various descriptions in the novel must be imbued with historical color. Specifically, it is required to deeply study the psychology, language, and abundant ethnographic, geographical, and toponymic information of the historical period, and to bring them to life through the actions, heartfelt feelings, and spiritual experiences of the characters, that is, to embellish them. [1. 94], and analyzes it using K. Karimov's novel "Aga biy" as an example.

From the mid-20th century, the historical novel served as one of the main genres of our literature, and during this period, a new stage of historical novels began to take shape. It is well known that historical novels, which are defined as the basis of the continuous connection between history and literature, are not a genre that is written according to a certain standard. In this, the writer skillfully uses artistic devices and descriptive techniques. "The writer uses artistic imagination in creating artistic images of historical events in their work. In historical novels, research on past history is taken as the basis of events. The most fundamental principle is truth and justice. By highlighting the good and bad aspects of each era, it establishes its unique character. [2. 11-12]. The genre of the historical novel encompasses these characteristics.

The creative work of J. Muratbaev has not become a special object of research in Karakalpak literary studies, except for being mentioned in relation to the topic in scholarly works dedicated to the study of historical novels. Professor K. Mambetov notes: "Jubatqan Muratbaev's profession is a veterinarian. Therefore, much of his life was spent among shepherds. The spiritual world of shepherds itself is deeply intertwined with the history of the people. All of them are attentive and talkative. Therefore, anyone searching for a genealogy might find it more frequently among shepherds. Jubatqan Muratbaev doesn't dismiss this opinion. [3. 117], expresses the following thoughts.

Furthermore, the scholar said, "The issue isn't just about that. Jubatqan grew up traveling between Turkistan, Kizilorda, and Chimbay. He was called a child of two peoples. Therefore, one can be confident that he knows the events of Turkestan and Kharezm no less well than any historian. [3. 117], - thus discussing the influence of the writer's environment on his creative work and analyzing his work "The Branch of the Genealogy" on a scientific basis.

In the monograph by literary scholar H. Utemuratova, it is revealed that in the historical novels of J. Muratbaev, "*Dıǵırıq*", "*Shejireniń shıbıǵı*", "*Aqquwǵa oq darımaydı*" historical truth is skillfully transformed into artistic truth, and prototypes are masterfully brought to the level of imagery. Especially, the author's skillful use of folk legends about the hero Qaraq batir, whose image is depicted in the novel "*Aqquwǵa oq darımaydı*" draws attention [4. 17] − she states.

Indeed, as scholars have noted, the writer has skillfully utilized legends, tales, and folk beliefs from among the people in a manner suited to the content of nearly all his works. He is a master of artistic expression, writing historical novels, from prose to short stories. We studied the writer's prose works by genre, dividing them into three major groups: short stories, novellas, and novels.

Regarding the short story—the most significant and active genre in the formative years of Karakalpak prose—M. Nurmukhamedov expressed the opinion: "The themes of the first short stories were closely connected with the daily life of that time" [5, p. 18].

The stories of J. Muratbayev also reflect the everyday events of his time, as well as issues of family, morality, and humanity. In most of his stories, the author participates, either as himself or as the narrator, employing artistic language and a narrative style to recount his own experiences.

In the writer's stories "*Daq", "Aytalmay ketti", "Shejireniń shıbıǵı", "Ázázúl", "Qızminayım", "Shınar", "Iyne"*, and other events encountered in everyday life, relationships between husband and wife in the family, and issues are artistically reflected.

The characters in J. Muratbaev's stories are distinguished by their industriousness, morality, and human qualities. He paid particular attention to the issues of family harmony. The characters created by the writer, regardless of their profession or situation, are not complaints about life, but rather feelings of confidence in the future and gratitude to fate.

For example, the story "Shejireniń shıbıǵı" tells the tragic fate of Ayperi, who unknowingly married her close relative. It convincingly depicts how, despite the loss of his life partner and five disabled sons, despite the hardships of life, he resolutely navigated the path to a happy life, drawing conclusions from his mistakes. The central theme of this story is the tragic consequences of marriage between close relatives (incest). In this story, the author primarily presents society as the cause for the lives of Ayperi and her life partner taking such a turn: "Young people who consider the genealogy that follows the ancestral line to be a claw of old customs and a tangle of religion, when meeting each other, only ask for their names, professions, and places of residence. Because of the mistake we made, placing our kinship second, hoping we would be safe wherever we went, he broke the tradition of showing off the honor we wouldn't see even if our blood relatives died" [6. 109-110], explaining through the words of an old woman who came looking for her daughter, the tradition of our people, where no matchmaking occurs for seven generations, and artistically revealing the harmful consequences of an improper marriage for human life. The author attributes the shortcomings Ayperi's character exhibits in her first marriage to her ignorance and lack of interest in her ancestral lineage; in her subsequent marriage, she teaches her children the family genealogy to avoid repeating her previous mistakes. The act of naming his little son Shejire holds symbolic significance. Furthermore, through this short narrative, the writer discusses several issues: namely, how ignorance of one's lineage and succumbing to alcoholism can become the root cause of family disintegration, children being born with disabilities, and even their death. Unfortunately, such a situation still occurs in our lives today. The writer puts forward the idea that to start a family, first of all, it is necessary to pay attention to the lineage of the two young people.

In many other stories, the writer explains that family harmony depends on the relationship between husband and wife, and more on the woman.

The literary scholar P. Nurjanov expressed the opinion that, "The novella genre served as an experiential school for our writers on the path to creating the novel genre, which was the pride of 20th-century Karakalpak prose, and the novella's significance in the development of this major genre is great" [7. 218]. Indeed, as the scholar noted, it is correct to say that the novella genre served as significant experience for J.Muratbaev in writing historical novels. The writer's stories address social, everyday, and moral issues. Especially in order to clarify the issue under discussion, he/she uses more documentary sources. This, in turn, fosters confidence and accuracy in the reader. The characters in their stories appear in various forms. For example, the story "Iyrim" depicts the misdeeds of past leaders. And in the documentary story "Parasat", the selfless service of our livestock breeders during the Perestroika period is skillfully revealed through the example of the image of veterinarian Allan. The story skillfully connects and harmoniously depicts the psychology of working people, along with their sense of pleasure from their profession, and their moral qualities, with the plot of the work.

The main characters of the writer's stories don't always appear in positive images. The main characters of the two aforementioned stories, Embergen and Allan, are portrayed in stark contrast. Allan is a veterinarian at a livestock farm. Out of love for their profession, they serve with honesty. He caught the eye of many with his manners and wisdom. As for Embergen, he was the director of the state farm. On the contrary, he is depicted as a leader who prioritizes his own interests, loves reward, and always avoids responsibility. By contrasting the characters, the writer revealed the life of the people of that time and achieved mastery by depicting the people who emerged from that people as prototypes.

Although J. Muratbaev is a veterinarian by profession, creating such valuable works on the history of the Karakalpak people is itself a great skill. The writer's frequent conversations with livestock owners must have played a role in this. Literary scholar K. Mambetov expresses the following opinion on this matter: "Hence, most of his life was spent among shepherds. The spiritual world of shepherds is inextricably linked with the history of the people" [3: 117]. Indeed, after the majority of our people engaged in animal husbandry, the events they experienced were not unfamiliar to them. It would be accurate to say that the writer was greatly influenced by the fact that most of them were attentive and inclined to tell stories. However, not all recounted stories can be called history. "Nevertheless, not all the events in this book can be regarded as true historical fact. Because, although the Karakalpaks were known as a large tribe in the 9th century, it cannot be assumed that all of their clans were formed during that period" [3. 120], expresses the critical opinion of the scholar K. Mambetov. However, the writer's creation of such a valuable literary work based on the materials and information he/she has researched was itself an achievement.

The writer's novel, "Dıǵırıq", explores the destinies of the people of that era. Furthermore, what particularly interests us is that this historical novel depicts the

life and customs of the Karakalpak people and features historical figures. Thirdly, the artistic depiction of the Karakalpak genealogy—that is, the comprehensive and vivid representation of information regarding the origins and divisions of our people's existing clans—creates a sense of authenticity for the reader. For this reason, we have chosen the author's historical works as the object of our study.

As for J. Muratbaev's novel, it filled a significant gap in the creation of our people's history and genealogy. Furthermore, the existence of literary criticism, which is considered the main indicator of a novel's reception, sparks interest in the work. "*Dıǵırıq at. 1. Arbanıń kósheri kiygizilip arısqa bekitilip qoyǵan jalpaq taxtaysha. 2. Aǯıs. Dáryanıń yamasa joldıń aylanǵan, burılǵan jeri, burılıs, aylanıs. Dárya qalanıń tusına kelgende dıǵırıq jasap burılıp ketken" (K.Sultanov*) [8. 217]. In this novel by J. Muratbayev, the word "*Dıǵırıq*" is used in a figurative sense, telling the story of Sasiq biy (Sas biy), a well-known figure to the Karakalpak people, and his dedicated service. This historical figure is also discussed in the writer's story, "Kemenger Biy". The word "Kemenger" means a patron, a guide, a leader [9. 118]. Among the people, Sasiq Biy is also called "Kemenger Biy".

It is natural for the historical events in the life of any nation to influence the spiritual world of all peoples. From this perspective, the Karakalpak people, like other Turkic peoples, enrich world literature through their wellspring of artistic expression.

In this, of course, literature holds a unique place. This is because, through works written with divine talent, every generation understands its past, national values, and traditions, and sets a course for the future.

The life and political views of Sasiq biy, a renowned biy of the Karakalpak people who stood against the campaigns of Bukhara Khan Imamquli and was his main advisor and counselor during the reign of the Kazakh Khan Tauke, who held a prominent place in the history of the Karakalpak people in the 17th-18th centuries, are examined in the works of T.Qanaatov, A.Reymov, E.Usenov, O.Aleuov, and G.Aleuova.

In conclusion, the prose works of Jubatqan Muratbaev are distinguished by their genre syncretism and the diversity of their artistic explorations. In his works, realistic narration is intertwined with lyricism and psychological analysis, and the boundaries between the short story and novella genres merge freely.

These characteristics of the writer make a unique contribution to the development of Karakalpak prose, providing an opportunity to deeply reflect the national worldview through modern artistic methods. Thus, based on the opinions of the aforementioned scholars regarding historical novels, we can say that a dedicated study of the historical novels of the writer J. Muratbaev, the issue of historical sources and artistic imagination, and the genre features of the writer's prose is one of the most important issues.

References

1. Jarimbetov Q. From Lyrics to Novel // Amu Darya. 2015, No. 3 - P. 94.

2. Bayniyazov A. (2025). Comparative-typological analysis of the images of prominent figures in contemporary Uzbek and Turkmen historical novels. Abstract of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in Philology. Nukus: - P. 11-12.

3. Mambetov, K. (1993). Karakalpak Genealogy. - Nukus: Bilim, - P. 117.

4. O'temuratova H. (1997). Poetics of the Karakalpak Historical Novel. Monograph - Nukus: Karakalpakstan, - P.17.

5. Nurmukhamedov M. (1985). Two-volume collection of works. Volume II - Nukus: Karakalpakstan, - P. 187

6. Muratbaev, J. (1992). Lost. - Nukus: Karakalpakstan, - P. 109-110.

7. Nurjanov P. (2023). Thoughts on Literature. Nukus: Bilim, - P. 218.

8. Explanatory Dictionary of the Karakalpak Language. Volume III, seven volumes. Nukus: Karakalpakstan, 2023. - P. 213.

9. Explanatory Dictionary of the Karakalpak Language. Volume IV, seven volumes. Nukus, Karakalpakstan, 2025. - P. 118.

ON THE ISSUE OF THE MAIN SOURCES OF THE EMERGENCE AND REPLENISHMENT OF THE VOCABULARY OF THE ENGLISH LANGUAGE THROUGH BORROWINGS

Mammadli M.
Azerbaijan University of Languages
Lecturer
DOI: 10.5281/zenodo.20456414

Abstract
The article presented for discussion addresses an interesting topic. In modern cognitive linguistics, there are currently numerous scholarly works directly devoted to expanding the English lexicology, but among these, borrowing is the most popular and productive. This aspect is the author's primary focus. However, we believe the author has chosen the right approach in distributing the informational material. Specifically, at the very beginning of the article, in full accordance with the title, a brief but necessary introduction is provided, directing professional linguists and lay readers alike to the history of the subject. This is appropriate, as many words and expressions borrowed into English date back to ancient times. From here, a thread extends to the Indo-European language family, to Latin, and to the Celtic tribe, and then a smooth transition follows to a more modern period. The article should be commended for providing a classification of borrowings that is both convenient and clear, both for linguistic analysis and for perception.
Keywords: borrowing methods, modern English, lexicology, vocabulary development, primary sources, etymology, Anglo-Saxon, Latin.

The origins of individual words and expressions is a key area of modern cognitive linguistics. Azerbaijani and foreign linguists-scholars studying this topic study their etymology, attempting, where possible, to trace not only the original source but also the main stages of their incorporation into a given language. Furthermore, various approaches are used to explore both "their original structure and the most significant lexical-semantic connections" [3, p.296]. Borrowing is one effective way to expand vocabulary. A brief examination of this process using English as an example is the central goal of this article.

First, we consider it necessary to clearly define the group affiliation of the English language. As is well known, it belongs to the Romano-Germanic group, which, in turn, is a branch of the Indo-European family. It turns out that the most ancient words or expressions (including individual historicisms or archaisms) in modern English have Indo-European roots. Given the advanced level of linguistic development in our time and summarizing the opinions of some scholars, we can categorize them. For example, G.N. Babich offers the following classification of borrowed words:

A). Family and marriage; family relationships: brother, sister, daughter, farther, mother;

B). Factors of action or deed: to come, to know, to sit; to lea;

C). Quality, characteristic of something: quick, right, sad;

D). Parts of the body or face: ear, eye, foot;

E). Flora and fauna: cat, tree, wolf;

F). Numerals: hundred, ten, three [1, p.9].

We'd like to point out at the very beginning of our article that we've presented one of the most simplified classifications of loanwords. It's simple in its internal structure and, in our opinion, quite clear and illustrative. But this also constitutes its distinct advantage; as we can see, it encompasses a wide variety of areas or spheres of social life.

We also consider it necessary to emphasize that the English language's vocabulary has been actively expanding throughout its centuries-long history. Thus, by the mid-2020s, attentive and somewhat meticulous linguists calculated that approximately 82 percent of English loanwords and expressions are conditioned by the characterological conditions and circumstances surrounding the development and refinement of the entire language system [1].

Borrowing in this language has proven to be a productive method. This is understandable: firstly, the sources (roots) can be very diverse. Secondly, it involves the transfer of individual components from a second, non-native language, such as words, phrases, phonemes, and morphemes. Moreover, the borrowing process itself occurs as a result of "cultural connections and linguistic contacts" [2, p.178]. It's significant that the English language organically absorbed some loanwords simultaneously with modifications to lexical, semantic, stylistic, syntactic, grammatical, and orthographic norms, adapting them to its own standards. Consequently, the paradigm of English loanwords also shifted.

It's reasonable to ask: if the borrowing we're looking for lasted for centuries, then what exactly was it connected to? This leads us to the interesting fact that borrowings occurred concurrently with certain significant events. Historians are joining the research of linguists. In particular, it turns out that Britain, even in the Early Middle Ages, was repeatedly invaded by various tribes and peoples. Initially (approximately from the mid-7th century BC), the British Isles were inhabited by Celts and Britons, who, in turn, absorbed some elements from the Indo-European family of peoples. Then, more than seven centuries later, that is, by the new era, Britain was again subjected to invasions by tribes that, from 55 BC onwards, had been attacked by the Roman (Ancient) Empire.

Modern historians, together with linguists, have easily discovered that Latin was incorporated into the English language of that distant time, since the ancient Greeks during the period of classical Hellenism spoke and wrote in their native Greek (now Ancient Greek), but the Romans spoke and wrote exclusively in Latin. Hence the influence of the Latins and the Celts. It has

been established that a certain portion of borrowings into English "was completed only in the fifth century of the new era" [7].

Without delving too deeply into history, it's worth noting that from this period (the 5th century), Britain was repeatedly conquered by Germans, Saxons, Jutes, and Spaniards. This diverse mix of tribes inevitably affected the linguistic aspect of the issue we're analyzing. Specifically, most of the tribes that attacked Britain spoke a mixture of Spanish and German (or, to be precise, Old High German). Elements of Old English were interbred with Anglo-Saxon, and the process of borrowing began immediately [5].

Let's give some specific examples. From Anglo-Saxon, English adopted the word "naked", which comes from the Anglo-Saxon "nacod" (naked, bare) and means obvious, open, or accessible. "To ring", from the Anglo-Saxon "hring-gan" (to ring, to collide), means (to ring or to sound) in Modern English. Let's note a curious contamination of loanwords. In the first example, the English word acquired an extremely distant meaning compared to the Anglo-Saxon one; in the second, by contrast, linguists are dealing with near-synonymous concepts.

Furthermore, a similar phenomenon is observed with the lexeme "spade", which from Anglo-Saxon means "spædu" and translates as "shovel". English adopted this word with the same meaning, but with the addition of "spade". The latter is synonymous with "crowbar" which was not intended in the Anglo-Saxon dialect. Then there's the Anglo-Saxon "tún", which denotes words such as fence, outskirts, estate, and small town. This word migrated into English "town" "with the generally accepted concept of city" [1, p.14].

Unfortunately, the aforementioned scholar G.N. Babich stops at the last borrowing. However, in our opinion, his thought can and should be successfully expanded. "Town" in modern English has, since ancient times, truly meant a city without any unnecessary specification of its spatio-temporal paradigm. If modern English speakers want to indicate a city's size, they simply add "small" or "large", respectively. Meanwhile, the Anglo-Saxon original provides only an elliptical form of the lexeme.

Clearly, a city outskirts or an estate is always smaller than a single large city. Thus, with borrowing, a peculiar transition occurs from "litotes" to "hyperbole". We have deliberately placed these words in quotation marks because they should be interpreted exclusively figuratively.

Instructive are those loanwords that entered modern English from Latin, but were used not by the Saxons, Spaniards, Jutes, or Normans, but exclusively by the Celts. This population belongs to a distinct branch of the British Isles. And the time is closer to our own. For example, one of the names for food in the Celtic dialect of Latin sounds like "būtyrum cāseus"; it was borrowed into English with this phonetic sound: "Butter Cheese". A trade term is "Uncia Pondō" - an Inch Pound, respectively. From the world of flora, "Caulis Planta" is a white cabbage ("Ynce pund"), etc.

It's striking that, regardless of its field of use, borrowings in English have undergone some orthographic and phonetic changes. However, upon closer examination, it's clear that their lexical and semantic content has remained essentially the same. We are confident that today's native English speakers will understand the double phonetic consonance perfectly. However, the reverse process is also observed, where the changes are so significant that they affect both spelling and semantics [6].

For example, the Anglo-Saxon "myln", derived from the Latin "molina", means only "mill". "Mill", on the other hand, primarily means "flour mill". At first glance, it might seem that there's no discernible difference between these terms. In fact, mills have existed among all civilized peoples and nations since ancient times. "Flour mill" in Great Britain (as in many other countries) only appeared in the second half of the 19th century. Therefore, it's a more modern linguistic innovation. This example demonstrates that borrowings refer to different time periods, and quite distant ones at that.

There are borrowings in which a known correspondence occurs along the lines of a specific material. Thus, the lexeme "street" was borrowed from the Anglo-Saxon word "strǣt" (which, incidentally, is extremely close to modern English in its phonetic sound). But the path from the original source to the second language, as they say, is a long one.

In Anglo-Saxon, this word denotes an object that extends into the distance; incidentally, it also implies the presence of a certain layer of material. In modern perception, this would be an asphalt road. The original source does not specify a street; it could refer to any space, whereas when borrowed into English, this word denotes only a "street", without any deviations, that is, deviations from the semantic norm.

A similar case is observed in the borrowing of the Anglo-Saxon "weall" into English, which has two variants: A) A fortified structure in the form of a rampart; B) Defense against an enemy. In Latin, this word is "vallus" (fence, palisade, hedge). In modern English, it's "wall"; the phonetic similarity is quite obvious, as is the difference in semantics.

Besides Latin and Germanic borrowings, the English language was significantly enriched by borrowings from Old Norse. As in the previous cases we've described, the Scandinavians, who had settled in Sweden, Norway, and neighboring Denmark, also frequently invaded parts of the British Isles. Since the Scandinavian peoples also belonged to the Anglo-Saxon branch, some linguistic elements were nearly identical. Mixed components were generally few. However, the direct influence of the Old Norse on English was significant. Moreover, the borrowing process proceeded at an accelerated pace due to the close relationship of the two languages, or at least their individual branches.

In one of her articles, Elena Kuritskaya insightfully notes that "the cultural element was mixed with the purely linguistic element, namely, borrowing into English occurred systematically and on a massive scale due to facilitated mutual understanding and interaction between people" [4, p.49]. The same scholar cites the following statistics: in modern English, there are currently over eight hundred and eighty words and expressions borrowed from Old Norse. For convenience and

clarity, we will provide a chain of three rows of borrowings: Anglo-Saxon - Old Norse - Modern English.

Thus, from the Anglo-Saxon "blōma", which means the weight of a certain type of metal and at the same time the Old Norse "blómi" - "flower" - English "bloom" with the same meaning. Let us note how the meanings differ in Anglo-Saxon and Old Norse; The first, as can be seen, is completely unmotivated, while the second is practically identical to the English word. However, such discrepancies are not always observed in borrowings. For example, in Anglo-Saxon, "eorl" is an indicator of a person's belonging to a higher caste, noble ancestry, and also a courageous warrior. In Old Norse, "jarl" is a king's subject or viceroy. From these two languages, "earl" - a renowned warrior of earl descent - came into modern English at relatively similar times.

Now let's decide which of the two borrowed meanings is closest to the original English. Of course, the first is the Anglo-Saxon one, which is associated with a person's high birth. As for the Old Norse, it most likely denotes a position under the king, rather than a person's status, much less a person's character. Thus, it is easy to conclude that the connection between borrowed words and specific motivations can be more or less close. This vaguely resembles the motivation behind phraseological units.

We notice a similar phenomenon in the borrowing of the modern English word "plough". It is entirely identical to the Old Norse "plógr", but has the additional meaning of "arable land" or "plowed field" in Anglo-Saxon. In turn, a complete match of meanings is found in the English word "sister". The Anglo-Saxon "sweostor" and "systir" are Old Norse.

We would like to conclude this article by presenting facts about the borrowing of elements of the Norman language by the English. Here, too, we cannot do without a brief historical commentary. The essence of the matter is that the majority of the Norman population during the aforementioned years spoke a motley mixture of Anglo-Saxon, Old High German, Old English, Latin, and, finally, French.

It is not surprising that, from such a multi-layered mixture of different languages, English began to borrow certain words and expressions. Meanwhile, modern scholars (M.M. Makovsky, Zh.N. Sarangeeva, L.V. Darzhinova, E.V. Kuritskaya, N.S. Novolodskaya, and others) have managed to prove that most of these borrowings came from French. In fact, it turned out that it was precisely this language that the Normans spoke most often.

The question inevitably arises: this language is noticeably distant from the branches that formed the basis of Latin, Anglo-Saxon, Old High German, and Old Norse. It turns out that over the course of several centuries, French seamlessly merged into what is known as Middle English. In particular, it has been discovered that William Shakespeare wrote in it. Many words from the great playwright's lexicon are difficult for modern translators to decipher. However, as strange as it may sound, it was precisely this language, several centuries later, that became the ancestor of the modern English literary language.

The scholars we mentioned have established with certainty that by the 19th and 20th centuries, bypassing the late Renaissance, New English (from the Middle English "aiden", meaning "providing emergency aid") incorporated lexemes such as "to aid", with the same basic meaning - to help, to assist, with the complement: "to assist someone". At the same time, the word "to help" was adopted into English from the Old French "aider", which had the same meaning (to help, to assist), and from the identical Latin "adiutare". The New English "beast", meaning "beast" or "animal" in general, and figuratively "rude", was also borrowed from both the Middle English "beste" and the Old French "beste", with virtually the same phonetic pronunciation. Similarly, the modern English "feeble" is borrowed from the Middle English "feble" (meaning feeble, thin, or frail), and from the Old French "foible" (a pitiful person, deplorable), and even from the Latin "flebilis", with an identical meaning. Examples could be multiplied if desired, but that would be beyond the scope of this article.

So, let's summarize briefly. In this paper, we have attempted to highlight characteristic examples of the use of loanwords in English across different eras. A brief historical overview prefaces the article to help identify the primary sources that served as the basis for the adoption of certain lexemes or expressions into English. To provide visual evidence, a comparative analysis of some loanwords from different language groups has been provided. These include Middle English, Latin, Anglo-Saxon, Scandinavian French, and several others.

References

1. Бабич Г. Н. Lexicology: A Current Guide. Лексикология английского языка: учеб. пособие. Изд-е 6-е, стереотип. М.: Флинта; Наука, 2012. 200 с.

2. Большая Российская энциклопедия: в 30-ти т. / науч.-ред. совет: Ю. С. Осипов и др. М.: Большая Российская энцик-лопедия, 2008. Т. 10. Железное дерево – Излучение. 767 с.

3. Большая советская энциклопедия: в 30-ти т. / гл. ред. А. М. Прохоров. Изд-е 3-е. М.: Советская энциклопедия, 1978. Т. 30. Экслибрис, 632 с.

4. Курицкая Е. В. Этимология заимствований в современном английском языке // Филологически науки. Вопросы теории и практики. 2019, Том 12, выпуск № 3, с. 47-52.

5. Longman Dictionary of English Language and Culture. 3rd revised edition. Harlow: Pearson Education, Ltd., 2005. 1680 p.

6. Skeat W. W. The Concise Dictionary of English Etymology. Ware: Wordsworth Editions, Ltd., 1994. 633 p.

7. The Oxford Dictionary of English Etymology / ed. by C. T. Onions. Oxford: Oxford University Press, 1966. 1042 p.

PHYSICS AND MATHEMATICS

MATHEMATICAL MODEL OF FLOW INDUCED BY A ROTATING DISK AND CORE IN A CYLINDRICAL RESERVOIR WITH TANGENTIAL INLET AND RADIAL OUTLET

Milyute E.
Department of Mathematical Computer Science,
Vilnius University and IRG "LITAVEM-3"
Milyus A.
IRG "LITAVEM-3"
Vilnius, Lithuania
DOI: 10.5281/zenodo.20456449

Abstract

The present study investigates the flow in a stationary cylindrical reservoir induced by a rotating disk driven by a central shaft together with a coaxial rotating rod (core). In contrast to the classical von Kármán problem, which considers flow near an infinite rotating disk, the proposed model accounts for finite system dimensions, sidewalls, tangential inflow, and localized radial fluid outflow. The presence of the rotating core forms an annular flow region and significantly modifies the angular momentum distribution, swirl structure, and spatial organization of the flow. It is shown that the combined action of disk and core rotation, axial inflow in the annular region, centrifugal radial ejection, and pressure gradients generated by fluid outflow leads to the formation of a complex three-dimensional multicellular flow. The resulting structure includes primary and secondary recirculation zones, separatrix surfaces, spiral vortex structures, and tertiary vortex formations. A mathematical approach is proposed for determining separatrices and critical points of the stream-function field, making it possible to establish the conditions for tertiary vortex formation and the loss of axial symmetry. Special attention is devoted to the tertiary vortex, which is interpreted not as a localized compact vortex core, but as a distributed multilayer spiral-conical structure developing along separatrices and shear layers surrounding the rotating core. It is shown that the tertiary vortex regime represents an intermediate stage between stable axisymmetric circulation and complex unsteady vortex motion. The obtained results generalize the classical von Kármán rotating-disk flow model to the case of a confined cylindrical domain with an internal rotating boundary as well as external sources and sinks of momentum. It is established that the interaction of swirl generation, viscous diffusion, recirculation, and localized fluid outflow leads to the formation of a vortex structure that cannot be described within the framework of the classical self-similar theory of rotating-disk flow.

Keywords: rotating disk, cylindrical reservoir, viscous incompressible fluid, Navier–Stokes equations, swirl flow, recirculation zones, vortex structure, tangential inlet, radial outlet, secondary flows, Reynolds number, meridional circulation

1. Introduction. Flows in rotating fluids represent one of the classical areas of hydrodynamics and have been extensively investigated both theoretically and experimentally. One of the most well-known models is the von Kármán problem describing the flow near an infinite rotating disk, for which a self-similar solution was obtained, characterizing the boundary-layer structure, radial transport of fluid, and axial inflow toward the disk surface [1]. Further development of this theory was associated with the works of Cochran [2], Prandtl and Tietjens [3], Batchelor [5], as well as modern studies of boundary layers and swirling flows [4, 8–10].

In rotating-disk systems, angular momentum transport, viscous stresses, and the interaction between radial, azimuthal, and axial velocity components play a fundamental role. In confined domains, the flow structure becomes significantly more complicated due to the influence of sidewalls, finite geometry, and external boundary conditions [11–13]. Under such conditions, closed recirculation zones, secondary flows, and complex vortex structures arise as a result of vorticity redistribution and the breakdown of axial symmetry [14–17].

Particular interest is associated with swirling flows involving both inflow and outflow of fluid. The presence of localized suction generates low-pressure regions, deformation of streamlines, and intense shear layers. Munro and Foster [7] demonstrated that non-axisymmetric drainage in a rotating reservoir can substantially reorganize the global vortex structure and lead to the formation of complex three-dimensional flow regimes.

Despite the considerable number of studies, the spatial organization of vortex structures in systems with simultaneous rotation, tangential inflow, and localized outflow remains insufficiently understood. In particular, little attention has been devoted to regimes involving tertiary vortex structures formed in regions of intense shear between major recirculation zones. Unlike classical localized vortices, such structures possess a distributed spatial character and are associated with the global reorganization of the flow.

In the present work, the flow in a cylindrical reservoir with a rotating disk, a coaxial rotating rod (core), tangential inflow, and radial outflow of fluid is investigated. The presence of the rotating core forms an annular flow region and significantly modifies the angular momentum distribution and swirl structure in the near-axis region. It is shown that the interaction of centrifugal radial ejection above the disk, axial inflow in the annular region, core rotation, and localized pressure

gradients leads to the formation of a complex multicellular flow structure.

A mathematical approach is proposed for determining separatrices of recirculation zones and analyzing the conditions for tertiary vortex formation. It is shown that the tertiary vortex does not represent a localized vortex core, but rather a spatial multilayer spiral-conical structure developing along separatrices and shear layers between the principal circulation regions. The obtained results may therefore be regarded as a generalization of the classical von Kármán rotating-disk model to the case of a confined cylindrical domain with an internal rotating boundary and external sources and sinks of momentum.

2. Problem formulation. A steady flow of a viscous incompressible fluid in a stationary cylindrical reservoir is considered, induced by a rotating disk of finite radius and a coaxial rotating vertical rod. The study focuses on a high-Reynolds-number flow regime, where inertial effects dominate in the bulk of the flow, while viscous stresses are confined to thin boundary layers near solid surfaces. In addition, the flow is driven by a tangential inflow of fluid, generating swirl, while fluid removal occurs through a radial outlet in the sidewall. Such a configuration leads to the formation of a complex three-dimensional flow combining rotation, radial mass transport, and axial circulation. The reservoir has radius R and height H, the disk has radius b, the rod radius is r_s, and the angular velocity of the disk and rod is Ω. The fluid is characterized by density ρ and kinematic viscosity ν.

At height $z = z_d$ within the reservoir, a rotating disk of radius b is located. The fluid is supplied through a tangential inlet and removed through a radial orifice of radius a in the sidewall.

A cylindrical coordinate system (r, φ, z) is used, where the z-axis is directed perpendicular to the plane of the disk. The computational domain is an annular region $r_s \le r \le R, 0 \le z \le H$, since the inner region $0 \le r < r_s$ is occupied by a solid rotating rod. The velocity field is specified as $\mathbf{u} = (u_r(r,z),\ u_\varphi(r,z), u_z(r,z))$, and the pressure is $p = p(r,z)$.

The fluid motion is governed by the Navier–Stokes equations for an incompressible medium. The continuity equation takes the form

$$(1/r)(\partial(ru_r)/\partial r) + \partial u_z/\partial z = 0 \qquad (1)$$

The radial component of the momentum equation is written as

$$u_r(\partial u_r/\partial r) + u_z(\partial u_r/\partial z) - \left(u_\varphi{}^2/r\right) = -(1/\rho)(\partial p/\partial r) + \nu\left(\Delta u_r - (u_r/r^2)\right) \qquad (2)$$

The azimuthal component takes the form

$$u_r\left(\partial u_\varphi/\partial r\right) + u_z\left(\partial u_\varphi/\partial z\right) + \left(u_r\, u_\varphi/r\right) = \nu\left(\Delta u_\varphi - \left(u_\varphi/r^2\right)\right) \qquad (3)$$

and the axial component is written as

$$u_r(\partial u_z/\partial r) + u_z(\partial u_z/\partial z) = -(1/\rho)(\partial p/\partial z) + \nu\Delta\, u_z\,. \qquad (4)$$

On the surface of the rotating disk ($z = z_d$, $r_s \le r \le b$), the no-slip boundary conditions are imposed:

$$u_r = 0,\ u_z = 0,\ u_\varphi = \Omega r. \qquad (5)$$

On the surface of the rod ($r = r_s$)

$$u_r = 0,\ u_z = 0,\ u_\varphi = \Omega r. \qquad (6)$$

On the stationary walls of the reservoir:

$$u_r = 0,\ u_\varphi = 0,\ u_z = 0. \qquad (7)$$

Fluid outflow occurs through a radial outlet in the sidewall:

$$r = R, z \approx z_d \qquad (8)$$

The mass flow rate through the outlet is defined as

$$Q = \int_{S_{out}} u_r\, dS\,, \qquad (9)$$

or, in approximate form,

$$Q \approx\ u_r(R, z_d)\, S_{out}\,. \qquad (10)$$

In contrast to the classical problem of an infinite rotating disk, the system considered has finite dimensions, is bounded by walls, contains fluid inlet and outlet, and also has an internal rotating boundary. In the general case, this excludes a self-similar transformation, and the problem must be considered in the full formulation for partial differential equations. Nevertheless, near the disk surface, the flow retains the properties of a boundary layer and can be approximated by the von Kármán self-similar solution. A dimensionless variable is introduced as

$$\zeta = z\sqrt{\Omega/\nu} \qquad (11)$$

and the velocities are represented in the form

$$u_r = r\Omega F(\zeta),\ u_\varphi = r\Omega G(\zeta), u_z = \sqrt{\nu\Omega}H(\zeta). \qquad (12)$$

Here, the functions $F(\zeta), G(\zeta),$ and $H(\zeta)$ satisfy the von Kármán system of equations. This representation is applicable locally and is used to estimate the boundary-layer thickness, shear stresses, and angular momentum transport. The vorticity field is defined as

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u} \qquad (13)$$

with components given by

$$\begin{cases} \omega_z = (1/r)\left(\partial\left(ru_\varphi\right)/\partial r\right), \\ \omega_r = -\,\partial u_\varphi/\partial z\ , \\ \omega_\varphi = (\partial\, u_r/\partial z) - (\partial\, u_z/\partial r)\,. \end{cases} \qquad (14)$$

In the vicinity of the disk, an intense vortex structure is formed with a dominant axial component. Within the reservoir volume, redistribution of vorticity occurs, leading to the formation of closed recirculation zones. The characteristic boundary-layer thickness is estimated as $\delta \sim \sqrt{\nu/\Omega}$, and the flow regime is determined by the Reynolds number

$$Re = \Omega b^2/\nu\,. \qquad (15)$$

Physically, the flow develops as follows. The rotation of the disk and the rod imparts azimuthal momentum to the fluid, which within the disk radius is transformed into a radial outflow. In accordance with the continuity equation, an axial inflow toward the disk arises, forming in the annular region $r \gtrsim r_s$. Near the surface of the rod, an additional boundary layer develops, enhancing the swirl in the central part of the flow. In a confined volume, this mechanism leads to the formation of a closed circulation pattern, including a downward flow in the near-axis annular region, radial outflow above the disk, upward motion along the sidewall, and the return of fluid toward the central region in the upper part of the reservoir. As a result, a system of secondary recirculation zones is formed, separated by separatrices, along which regions of intensified shear arise, providing conditions for the formation of smaller-scale vortex structures.

3. Mathematical model.

Substitution of the self-similar velocity representations (12) into the Navier–Stokes equations in the

boundary-layer approximation leads to the following system of ordinary differential equations:

$$\begin{cases} 2F + H' = 0, \\ F^2 + F'H - G^2 - F'' = 0, \\ 2FG + HG' - G'' = 0, \end{cases} \quad (16)$$

The first equation expresses the law of mass conservation in the boundary layer and establishes the relation between the radial and axial velocity components:

$$H' = -2F\,. \quad (17)$$

This means that the radial outflow of fluid is accompanied by an axial inflow toward the disk surface. In the considered system with a rotating rod, this inflow is formed not on the axis $r = 0$, but in the annular region $r \gtrsim r_s$, since the central part is occupied by a solid body.

The second equation

$$F^2 + F'H - G^2 - F'' = 0 \quad (18)$$

describes the radial momentum balance. The term F^2 corresponds to inertial effects, $F'H$ to momentum transport in the axial direction, G^2 to the action of centrifugal forces, and F'' to viscous resistance. In the presence of a rotating rod, the radial flow distribution near the center changes; however, in the local region $r \gtrsim r_s$, the structure of the balance remains similar to that in the classical problem.

The third equation

$$2FG + HG' - G'' = 0 \quad (19)$$

characterizes the transport of azimuthal momentum. The terms $2FG$ and HG' describe angular momentum transport by the radial and axial flows, whereas G'' reflects viscous decay of rotation. The presence of the rod enhances swirl in the central region, increasing the azimuthal velocity near the inner boundary and changing the global distribution of the function $G(\zeta)$; however, within the boundary layer, the structure of the equation remains unchanged.

It should be emphasized that this self-similar representation is applicable only in the local region near the disk surface. In a system with finite geometry, sidewalls, a rotating rod, tangential inflow, and radial outflow, self-similarity is violated, and the global flow is not described by system (16). Outside the boundary layer, the flow structure is determined by the interaction of radial ejection, axial inflow in the annular region, rod rotation, sidewalls, and inlet/outlet boundary conditions, which leads to the formation of a complex multicellular vortex structure.

The functions $F(\zeta), G(\zeta)$ and $H(\zeta)$ describe the radial, azimuthal, and axial velocity components near the disk, respectively. The boundary conditions on the disk surface are given by

$$F(0) = 0, G(0) = 1, H(0) = 0, \quad (20)$$

which corresponds to the absence of radial slip, the equality of the azimuthal fluid velocity to the disk velocity, and the impermeability of its surface. Far from the disk, in the classical problem, the conditions

$$F(\infty) = 0, G(\infty) = 0, \quad (21)$$

are imposed; however, in the present system these conditions are only approximate due to the influence of external boundaries.

The system (16) does not admit an analytical solution and is solved numerically as a boundary-value problem. Within the framework of this model, its solution is used to determine local boundary-layer characteristics, including velocity distributions and the value of the derivative $G'(0)$.

The shear stress on the disk surface is defined as

$$\tau_{z\varphi} = \mu \left(\partial u_\varphi / \partial z\right)_{z=0}, \quad (22)$$

from which, taking into account the self-similar representation, it follows that

$$\tau_{z\varphi} = \rho r \Omega \sqrt{\nu\Omega}\, G'(0)\,. \quad (23)$$

This expression remains valid in the presence of the rod, since it is determined by the local properties of the flow near the disk surface. Integration over the surface of the disk of radius b gives an estimate of the torque:

$$M \sim \rho\, \Omega^2 b^4 \sqrt{\nu/\Omega}\,. \quad (24)$$

In the presence of the rod, the magnitude of the torque may change due to flow redistribution and enhanced swirl in the central region; however, the functional dependence on the parameters ρ, b, Ω and ν is preserved.

In the general case, the pressure is not a function of the self-similar variable alone and is determined from the Navier–Stokes equations taking into account geometry and boundary conditions. Formally, it may be represented as:

$$p = \rho \nu \Omega P(\zeta)\,, \quad (25)$$

however, near the disk the radial pressure gradient is governed by centrifugal forces:

$$\partial p/\partial r \sim (\rho u_\varphi{}^2)\,/\,r\,. \quad (26)$$

This leads to an increase in pressure from the inner region of the flow toward the periphery. In the presence of the rod, the pressure distribution in the central zone is determined by the boundary conditions at $r = r_s$, where the rotation of the solid boundary maintains an elevated level of swirl.

In the vicinity of the disk surface, an intense vortex structure is formed with a dominant axial component of vorticity, which determines the spiral character of the streamlines. The radial component is associated with the variation of the azimuthal velocity in the direction normal to the disk, while the azimuthal component is related to shear effects arising from the interaction of radial and axial motions. Near the surface of the rod, a region of increased vorticity also develops, enhancing rotation in the near-axis zone.

In contrast to the classical problem, the flow exhibits a pronounced three-dimensional character. In the boundary layer at the disk, maximum velocity gradients and high vorticity intensity are observed; a similar but more localized layer forms at the rod surface. Within the reservoir volume, momentum redistribution and attenuation of swirl occur, accompanied by the formation of closed recirculation zones. In the region of radial outflow, the flow accelerates, which is accompanied by a local pressure decrease and deformation of streamlines. The tangential inflow enhances the swirl, and in the presence of the rod this effect becomes more pronounced. For sufficiently strong inflow, a region close

to quasi-solid-body rotation is formed, in which the azimuthal velocity depends only weakly on the radius within the annular zone $r \gtrsim r_s$.

Numerical results show that the azimuthal velocity reaches its maximum near the disk and the rod surface and decreases with height; the radial velocity is directed from the inner region toward the periphery in the disk region and changes sign in the return-flow region; the axial velocity forms a downward flow toward the disk in the near-axis annular zone and an upward motion along the sidewall. The vortex lines have a spatially spiral structure and connect the region of the rotating disk and rod with the peripheral outflow zone, forming a complex circulation system.

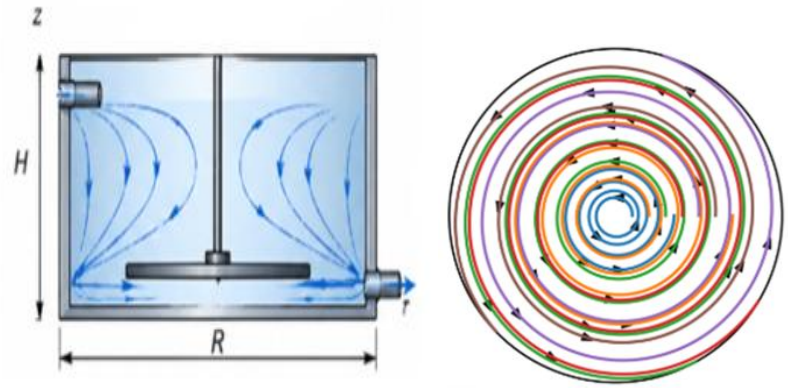

Figure 1. Schematic of the experimental setup: a cylindrical reservoir with a rotating disk and a coaxial rotating rod, tangential fluid inflow, and radial outflow through a side opening. On the left, a projection of the main streamlines in a meridional section is shown: the fluid entering tangentially descends in the near-axis annular region toward the disk, then, under the action of centrifugal forces, spreads radially toward the walls and rises upward, forming a closed circulation loop. On the right, a top view is presented, illustrating the spiral nature of the motion on the disk: the streamlines take the form of diverging spirals, reflecting the combined action of radial outflow and azimuthal rotation.

4. Numerical simulations. Numerical investigation of the flow was carried out for a stationary cylindrical reservoir with a finite rotating disk and a coaxial rotating rod, tangential inflow, and radial outflow of fluid. In contrast to the classical von Kármán problem, the system under consideration is characterized by finite geometric dimensions, the presence of sidewalls, an internal rotating boundary, and localized inlet and outlet. Therefore, a strictly self-similar representation of the flow throughout the entire reservoir is not applicable. In this work, the von Kármán solution is used as a local asymptotic model near the disk surface, whereas the global flow structure is described in terms of the stream function field in the meridional plane of the annular region $r_s \leq r \leq R$.

The system of equations is solved numerically using the finite volume method on a structured grid with second-order accuracy. Pressure–velocity coupling is achieved using the SIMPLE algorithm. The flow regime is determined by the Reynolds number (15).

The calculations were performed for water with kinematic viscosity $\nu = 10^{-6}\, m^2/s$, reservoir radius $R = 0.50\, m$, height $H = 0.50\, m$, disk radius $b = 0.13\, m$, rod radius r_s , disk position $z_d \approx 0.06\, m$, and angular velocity of the disk $\Omega = 100\, rad/s$. The disk was considered finite and occupied the region $r_s \leq r \leq b$. The reservoir remained stationary; therefore, Coriolis forces were neglected. The swirl of the fluid was generated by the rotation of the disk and rod, as well as by the tangential inflow.

To describe the meridional motion, a stream function $\psi(r, z)$ was introduced, through which the velocity components were defined as

$$u_r = (1/r)(\partial\,\psi/\partial z)\,, u_z = -(1/r)(\partial\psi/\partial r) \quad (27)$$

This representation automatically satisfies the continuity equation (1).

The stream function field was constructed as a superposition of contributions corresponding to the main physical mechanisms of the flow: the downward axial motion toward the disk, radial outflow above the finite disk, upward motion along the sidewall, localized suction in the outflow region, and closed recirculation cells. The contribution of radial outflow was confined to the region $r \leq b$, reflecting the finite size of the disk, while the inner boundary $r = r_s$ excludes flow in the central region and introduces additional rotational influence.

The characteristic dimensionless parameters of the problem were defined as

$$Re_\Omega = \Omega R^2/\nu\,, S = U_{in}/\Omega R\,, C_Q = Q/\Omega R^3\,. \quad (28)$$

For the selected parameters, $Re_\Omega = 2.5 \times 10^7$. When estimated based on the disk radius $b = 0.13\, m$, one obtains $Re_\Omega = 1.69 \times 10^6$, which corresponds to a strongly inertial flow regime in which centrifugal transport and swirl play a dominant role, while viscous effects are primarily confined to boundary layers. The thickness of the local viscous layer near the disk is estimated using the von Kármán scale as

$$\delta \sim \sqrt{\nu/\Omega} = \sqrt{10^{-6}/100} = 1.0 \times 10^{-4}\, m.$$

A boundary layer of the same order of magnitude is formed near the surface of the rod. Unlike the infinite-disk case, this estimate characterizes only a local region, whereas in the reservoir volume the flow is governed by interaction with boundaries and global circulation.

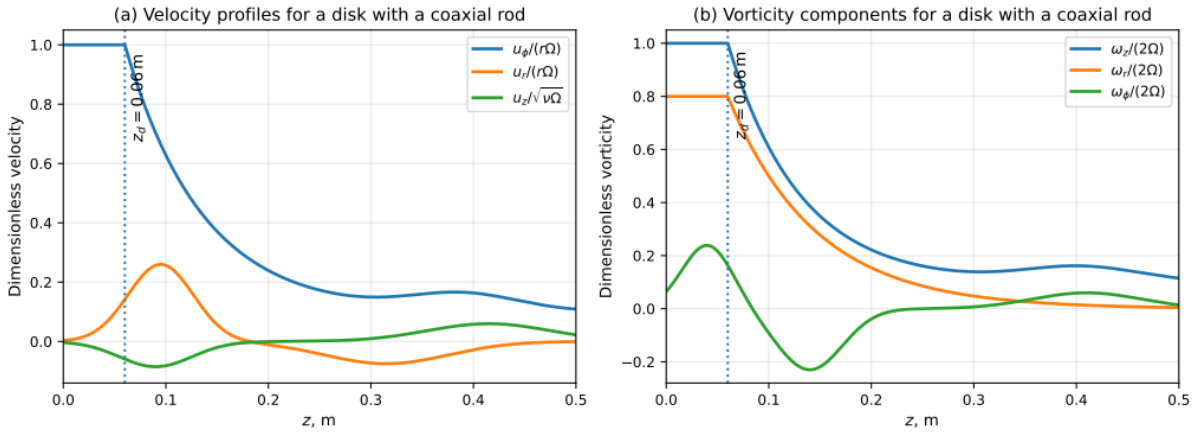

Figure 2. Vertical profiles of the dimensionless velocity components and vorticity for the flow induced by a finite rotating disk and a coaxial rotating rod in a cylindrical reservoir with tangential inflow and radial outflow of fluid. The plots illustrate the influence of the rod on the enhancement of swirl in the near-axis region, the redistribution of axial flow in the annular zone, and the variation of the vortex structure with height.

The numerical results show that near the disk a radial outflow of fluid is formed from the inner boundary toward the periphery, limited by the radius b. Above the disk, a transitional conical region arises in which the downward flow from the near-axis annular zone turns into the radial direction. Along the sidewall, an upward flow is formed, closing the global circulation. In the central and upper parts of the reservoir, large recirculation zones develop, while near the outflow region a localized suction zone and deformation of streamlines are observed. The rotating rod enhances the swirl in the near-axis region and significantly affects the position and shape of the recirculation zones.

A characteristic feature is the presence of several critical points of the stream function, defined by the conditions $u_r = 0, u_z = 0,$

or equivalently

$$\partial\psi/\partial r = 0, \partial\psi/\partial z = 0\,.$$

In their vicinity, streamlines close upon themselves, forming recirculation zones. Saddle points define separatrices that separate regions of circulation. Along these lines, increased velocity gradients are observed, creating conditions for the formation of tertiary vortex structures.

Physically, the obtained results reflect the mechanism of flow formation in a confined volume under the action of a rotating disk and rod. The rotation imparts azimuthal momentum to the fluid, which in the vicinity of the disk is transformed into a radial flow directed toward the periphery. In accordance with the continuity equation, a compensating axial flow directed toward the disk is formed in the annular region. This flow is involved in a closed circulation loop, including downward motion in the near-axis zone, radial outflow above the disk, upward flow along the sidewall, and return of the fluid to the inner region in the upper part of the reservoir. The tangential inflow and radial outflow further deform the flow structure.

The shear stress on the disk surface is determined by the local characteristics of the boundary layer and can be estimated based on the von Kármán solution:

$$\tau = \rho r\Omega\sqrt{\nu\Omega}\,G'(0)\,.$$

Thus, the von Kármán solution remains applicable as a local asymptotic model describing the flow behavior near the disk. At the same time, in a confined volume with a rotating rod, tangential inflow, and radial outflow, the global flow structure is governed by the interaction of recirculation zones, boundary conditions, and system geometry, leading to the formation of a complex three-dimensional vortex system.

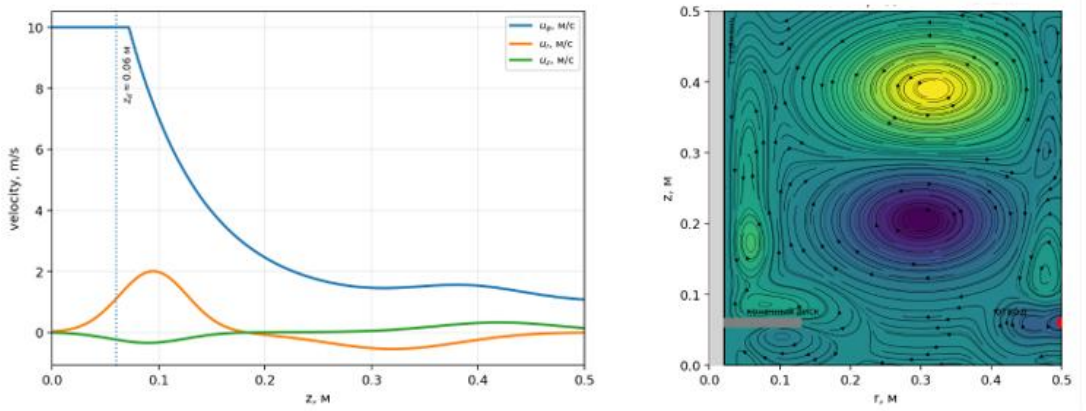

Figure 3. Profiles of the velocity components and streamline structure for the flow induced by a finite rotating disk and a coaxial rotating rod in a cylindrical reservoir. The influence of the rod on flow redistribution is shown: the formation of radial outflow above the disk in the annular region, the displacement of the descending axial flow from the axis toward the region $r \gtrsim r_s$, and the development of a system of closed recirculation zones. The streamlines demonstrate a complex circulation pattern resulting from the interaction of rotation, sidewalls, and fluid inflow and outflow.

5. Recirculation regions on the disk. On the surface of the rotating disk, the streamlines are not purely radial. Physically, a fluid particle near the disk simultaneously participates in azimuthal rotation and undergoes radial transport from the center toward the periphery. Thus, the velocity has two components: a radial component $u_r > 0$ and an azimuthal component $u_\varphi = \Omega\, r$, and can be written as

$$\mathbf{u} = u_r \mathbf{e}_r + u_\varphi \mathbf{e}_\varphi \qquad (29)$$

Consequently, the motion of particles near the disk surface is not radial but helical (spiral) in nature. In projection onto the plane of the disk, the streamlines form diverging spirals directed from the inner region toward the periphery, while simultaneously rotating in the direction of disk motion (Figs. 1 and 4). The particle trajectory in polar coordinates is determined by:

$$d\varphi/dr = u_\varphi/r u_r\,, \qquad (30)$$

which shows that the degree of swirl is determined by the ratio of azimuthal to radial velocity.

Using the von Kármán solution self-similar representation [1]:

$$u_r = r\Omega F(\zeta), u_\varphi = r\Omega G(\zeta)\,, \qquad (31)$$

we obtain

$$d\varphi/dr = G(\zeta)/r\,F(\zeta)\,. \qquad (32)$$

Near the disk surface, the function $G(\zeta)$ takes relatively large values, whereas $F(\zeta)$ remains finite; therefore, particle trajectories are strongly twisted. As the distance from the disk increases, the azimuthal velocity decreases, leading to a reduction in the spiral character of the streamlines.

Thus, a correct representation of the flow on the disk should exhibit diverging spiral streamlines rather than a purely radial flow. Similarly, near the bottom of the reservoir, the streamlines retain a weak spiral character due to angular momentum transport. Although the radial velocity component is directed from the inner region toward the periphery, the overall particle trajectories remain spiral.

6. Transverse (horizontal) recirculation regions in the tank.

To describe recirculation regions in a transverse cross-section of the reservoir, consider the plane $z = z_k = const$, perpendicular to the axis of rotation. Due to the presence of a coaxial rotating rod, the flow domain is an annular region $r_s \le r \le R$, since the inner part $r < r_s$ is occupied by a solid body.

In this plane, the fluid motion is described by two velocity components $u_x(x, y, z_k)$ and $u_y(x, y, z_k)$, which are projections of the radial and azimuthal velocities onto Cartesian axes. The transformation from cylindrical to Cartesian coordinates yields

$$\begin{cases} u_x = u_r \cos\varphi - u_\varphi \sin\varphi\,, \\ u_y = u_r \sin\varphi + u_\varphi \cos\varphi\,. \end{cases} \qquad (33)$$

Using the von Kármán solution self-similar representation

$$\begin{cases} u_r = r\,\Omega\,F(z)\,, \\ u_\varphi = r\,\Omega\,G\,(z), \end{cases} \qquad (34)$$

we obtain the velocity field in the transverse plane as:

$$\begin{cases} u_x = r\Omega\,F(z_k)\cos\varphi - r\Omega\,G(z_k)\sin\varphi\,, \\ u_y = r\Omega\,F(z_k)\sin\varphi + r\Omega\,G(z_k)\cos\varphi\,. \end{cases} \qquad (35)$$

In the vicinity of the disk, radial outflow and azimuthal rotation occur simultaneously, resulting in spiral particle trajectories. In the general case, the velocity components u_r and u_φ depend on the radial coordinate and height and are determined by the global flow structure. For analysis, a two-dimensional stream function $\chi(x, y;\, z_k)$ is introduced, defined by

$$u_x = \partial\chi/\partial y\,,\quad u_y = -\partial\chi/\partial x\,. \qquad (36)$$

The curves $\chi = const$ represent streamlines in the transverse plane. The centers of recirculation zones are determined by the conditions:

$$u_x = 0,\quad u_y = 0\,. \qquad (37)$$

or equivalently

$$\partial\,\chi/\partial x = 0,\quad \partial\chi/\partial y = 0. \qquad (38)$$

Thus, each recirculation region corresponds to a critical point of the function χ, around which the streamlines are closed. The vorticity in the transverse section is determined by the axial component

$$\Omega_z = \left(\partial u_y/\partial\, x\right) - \left(\partial u_x/\partial y\right)\,. \qquad (39)$$

A change in the sign of Ω_z indicates the presence of neighboring vortex regions with opposite directions of rotation.

In the problem under consideration, the velocity field is formed by the combined action of several mechanisms:

$$\mathbf{u}_{\perp} = \mathbf{u}_{disk} + \mathbf{u}_{rod} + \mathbf{u}_{in} + \mathbf{u}_{out}\,. \quad (40)$$

The contribution of the rotating disk describes radial outflow and swirl:

$$\mathbf{u_{disk}} = u_r \mathbf{e}_r + u_\varphi \mathbf{e}_\varphi\,, \quad (41)$$

where $u_r > 0$ in the disk region. The rotating rod generates additional swirl in the near-axis region:

$$\mathbf{u}_{rod} = \Omega r\, \mathbf{e}_\varphi\,, \boldsymbol{r} \approx \boldsymbol{r_s}\,, \quad (42)$$

which leads to an enhancement of azimuthal motion and a displacement of the flow toward the annular region. The tangential inflow generates a supply of angular momentum:

$$\mathbf{u}_{in} = U_{in}\, \mathbf{e}_\varphi\,, \quad (43)$$

while the radial outflow creates a localized suction region, which in the first approximation may be described as a planar sink:

$$\mathbf{u}_{out} = -(Q/2\pi h)((\mathbf{x} - \mathbf{x}_{out})/|\mathbf{x} - \mathbf{x}_{out}|^2)\,. \quad (44)$$

Here $\mathbf{x} = (x, y)$, $\mathbf{x}_{out}$ denotes the position of the outlet, Q is the flow rate, and h is a characteristic layer thickness.

In each transverse section, an individual system of recirculation zones is formed. Near the disk, radial outflow and swirl dominate; therefore, the streamlines exhibit a diverging spiral pattern. Due to the presence of the rotating rod, the flow develops not at the center but in the near-axis annular region $r \gtrsim r_s$, where enhanced swirl and flow around the inner boundary are observed.

In the middle part of the reservoir, the contribution of radial outflow decreases, and the flow structure becomes more ordered, approaching a ring-like motion around the rod. The recirculation zones take the form of weakly deformed annular regions.

In the upper part, the return flow from the sidewall toward the inner region is intensified, and the influence of the tangential inflow becomes more pronounced. This leads to a displacement of the recirculation centers, deformation of the annular structures, and redistribution of vorticity. The swirl weakens but is maintained due to the rotation of the rod and residual angular momentum.

Thus, transverse sections at different heights reflect the three-dimensional evolution of the vortex field: from intense spiral motion near the disk and rod, to a more ordered annular flow in the middle part of the reservoir, and further to return circulation in the upper region. Such a structure cannot be fully described by a longitudinal section alone.

Transverse sections make it possible to identify the distribution of swirl, the location of local centers of rotation, and the geometry of annular recirculation regions in planes perpendicular to the axis of rotation. This is particularly important for understanding the three-dimensional organization of the flow, in which the spiral nature of motion is determined by the combined action of radial and azimuthal velocity components, as well as by the influence of the internal rotating boundary.

Figure 4 shows transverse sections of the reservoir at different height levels. The main recirculation zones are highlighted by color, and the streamlines illustrate the structure of fluid motion in each plane. The inner region is occupied by a rotating rod of radius r_s, and therefore the flow develops in the annular domain $r_s \le r \le R$. The presented sections make it possible to trace the spatial evolution of the flow, including changes In swirl intensity, redistribution of radial and axial velocity components, and the displacement and deformation of recirculation zones under the combined influence of disk and rod rotation, tangential inflow, and radial outflow of the fluid.

In the lower cross-section, located near the rotating disk ($z = 0.055m$), the flow structure is governed by the direct influence of the disk and the coaxial rotating rod. Since the inner region is occupied by a solid body, the flow develops in the annular zone surrounding the rod. In this region, intense swirl is observed, and the streamlines exhibit a pronounced spiral character due to the combined action of radial outflow, azimuthal rotation, and flow around the inner boundary. The flow is directed from the near-axis annular region toward the periphery, while maintaining a high angular velocity. Near the sidewall, a return flow is formed, giving rise to an outer recirculation zone. The radial outflow through the sidewall induces asymmetry in the velocity field and creates a localized suction region on the right-hand side of the cross-section.

In the cross-section at $z = 0.140m$, the influence of the rotating disk weakens; however, the swirl maintained by the coaxial rotating rod persists in the near-axis annular region. The streamlines become more organized and approach closed trajectories. A stable annular region is formed, in which azimuthal motion dominates. The asymmetry caused by the tangential inflow and radial outflow remains, but is less pronounced than in the vicinity of the disk.

In the middle cross-section ($z = 0.280m$), the radial velocity component decreases significantly, and the flow structure is governed primarily by azimuthal motion, return circulation, and vorticity redistribution. The streamlines form a large swirling region around the rod, with the center of the recirculation zone shifted relative to the geometric center of the reservoir. This shift is associated with the influence of tangential inflow, radial outflow, and the internal solid boundary.

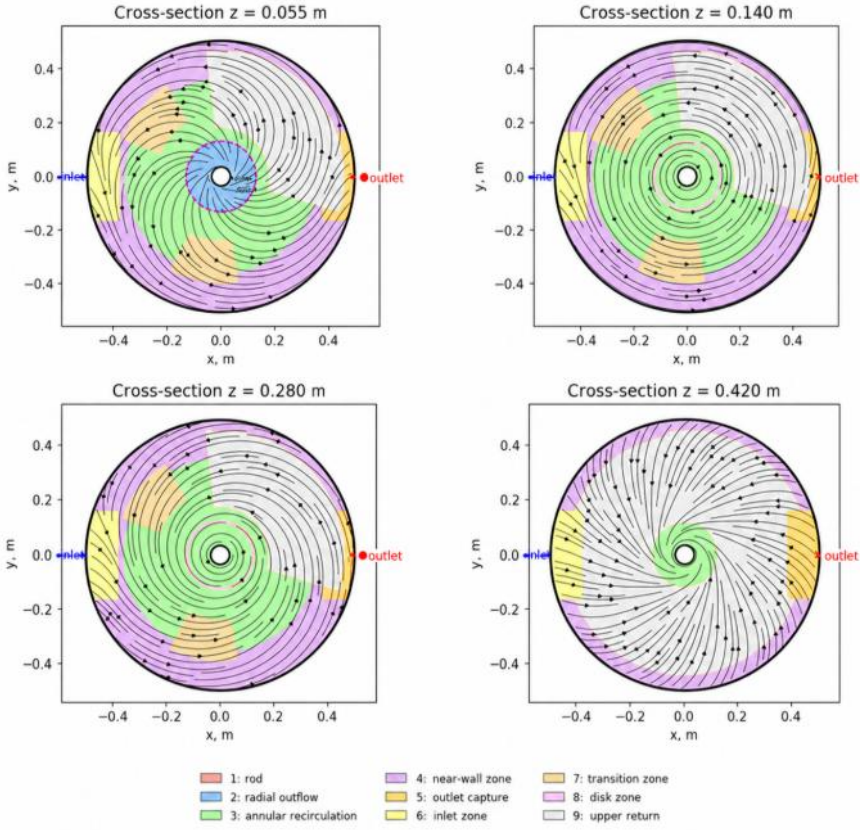

Figure 4. Recirculation zones in transverse cross-sections of a stationary tank with a rotating disk.

In the upper cross-section ($z = 0.420m$), the radial outflow induced by the disk nearly vanishes, and the flow is dominated by return motion in the upper part of the reservoir. The swirl weakens significantly but does not disappear completely due to the influence of the rotating rod and tangential inflow. The streamlines become less spiral and reflect the return of fluid toward the inner annular region. As a result, a system of weak recirculation zones is formed, corresponding to the upper part of the global circulation.

Thus, the transverse sections demonstrate a gradual transformation of the vortex structure: from intense spiral motion near the disk and rod, to a more ordered annular flow in the middle region of the reservoir, and further to return flow in the upper region. The presence of a coaxial rotating rod prevents flow through the axis $r = 0$, displaces the near-axis flow into the annular region $r \gtrsim r_s$, and enhances swirl near the inner boundary, significantly affecting the formation and spatial organization of recirculation zones.

In the upper sections, a change in the orientation of spiral streamlines is observed compared to the near-disk region. This is associated with a change in the sign of the radial velocity component as the flow transitions from radial outflow to return flow, leading to a corresponding change in the sign of $d\varphi/dr$ and reflecting the three-dimensional structure of the circulation.

7. Secondary recirculation regions (downward flow) in the meridional section. The mathematical explanation of the formation of secondary recirculation zones in the considered rotating reservoir follows from the Navier–Stokes equations in cylindrical coordinates under the simultaneous action of several factors: a rotating disk, a coaxial rotating rod, tangential inflow of fluid, and radial outflow through a side opening.

These mechanisms generate competing directions of momentum transport: the disk induces radial outflow of fluid, the rod enhances swirl in the near-axis region, the tangential inflow supplies additional angular momentum, and the radial outflow creates a localized low-pressure region. As a result, the flow loses a simple axisymmetric structure and breaks into several closed circulation cells.

Let the velocity field be written as

$$\mathbf{u} = (u_r,\ u_\varphi, u_z) \qquad (45)$$

For an axisymmetric formulation, the continuity equation takes the form

$$(1/r)(\partial(ru_r)/\partial r) + (\partial u_z/\partial z) = 0. \qquad (46)$$

From this relation it follows that radial outflow of fluid is accompanied by a compensating axial inflow. Near the rotating disk, due to the no-slip condition, the azimuthal velocity is formed as $u_\varphi \approx \Omega r$, and the centrifugal term $-u_\varphi^2/r$ in the radial momentum equation produces acceleration directed from the inner region toward the periphery. This leads to the formation of a radial flow $u_r > 0$ in the disk region.

According to the continuity equation (46), such a radial outflow is accompanied by an axial inflow toward the disk. In the presence of the rod, this inflow is formed not on the axis$r = 0$, but in the near-axis annular region $r \gtrsim r_s$, since the inner region is occupied by a solid body. As a result, a primary circulation cell is formed: the fluid descends in the near-axis region, then spreads radially above the disk, rises along the sidewall, and returns toward the inner region in the upper part of the reservoir.

Additional complexity in the flow structure arises due to the tangential inflow, which imposes a nonzero azimuthal velocity:

$$u_\varphi(R, z_{in}) = U_{in}. \quad (47)$$

At the same time, the flow acquires circulation defined as

$$\Gamma = \oint u_\varphi r \, d\varphi = 2\pi r u_\varphi \, . \quad (48)$$

During the transport of fluid from the wall toward the inner region, the angular momentum is partially conserved, $ru_\varphi \approx Const$, which leads to an increase in the azimuthal velocity with decreasing radius $(u_\varphi \sim 1/r)$. This enhances centrifugal effects and generates a radial pressure gradient:

$$\partial p/\partial r = \rho u_\varphi^2/r \quad (49)$$

As a result, the pressure near the wall exceeds that in the near-axis region, promoting flow redistribution and the formation of additional recirculation zones, particularly in the upper part of the reservoir.

Radial outflow through the side opening creates a localized low-pressure region, $p_{out} < p_{tank}$, forming a pressure gradient $-\nabla p$, directed toward the outlet. Near the discharge opening, the flow is deflected toward the exit, while the remaining fluid continues to participate in the global circulation. The competition between radial outflow and localized suction leads to the appearance of reverse-flow regions and the formation of additional vortex cells, especially in the near-bottom region and in the vicinity of the outlet.

For the analysis of recirculation zones, it is convenient to introduce the stream function $\psi(r, z)$, defined by the relations:

$$\begin{cases} u_r = (1/r)(\partial\psi/\partial z) \\ u_z = -(1/r)(\partial\psi/\partial r) \end{cases} \quad (50)$$

The curves $\psi = Const$ represent streamlines in the meridional plane. A recirculation zone arises in regions where the streamlines are closed, and its center is determined by the conditions $u_r = 0, u_z = 0$ or equivalently, $\partial\psi/\partial r = 0, \partial\psi/\partial z = 0$. The appearance of multiple such critical points is associated with differences in boundary conditions on the surfaces of the reservoir. In the disk region, radial outflow occurs $(u_r > 0)$; at the sidewall, due to the impermeability condition, $u_r = 0$, which causes the flow to turn upward $(u_z > 0)$. In the upper part of the reservoir, the flow returns toward the inner region $(u_r < 0)$, after which it again descends in the near-axis annular zone $(u_z < 0)$. In this way, the primary circulation cell is formed.

The presence of radial outflow through the side opening induces an additional change in the sign of the velocity components in the vicinity of the outlet, leading to the appearance of new critical points of the stream function and the formation of secondary recirculation zones (Figs. 5 and 7).

Additional insight is provided by the analysis of vorticity. The azimuthal component of vorticity is given by

$$\Omega_\varphi = (\partial u_r/\partial z) - (\partial u_z/\partial r) \quad (51)$$

A change in the sign of Ω_φ in different regions of the reservoir indicates the existence of adjacent zones with opposite directions of rotation. Near the disk, the vorticity is determined by the gradient of radial velocity with respect to height; near the sidewall, its sign changes due to flow deceleration and upward deflection; and in the upper region, due to the return flow toward the inner domain.

Thus, the combined action of rotation, inflow, and outflow leads to the formation of a complex multicellular flow structure, including several secondary recirculation zones separated by separatrices. These zones reflect the spatial non-uniformity of the velocity field and confirm the three-dimensional nature of the flow.

The formation of additional zones can also be explained through the pressure balance. Rotation generates a radial pressure distribution:

$$p(r) = p(r_s) + \int_{r_s}^{r} \rho\left(u_\varphi^2/s\right) ds \, , \quad (52)$$

where the lower limit of integration corresponds to the inner boundary of the flow $r = r_s$, occupied by the rotating rod.

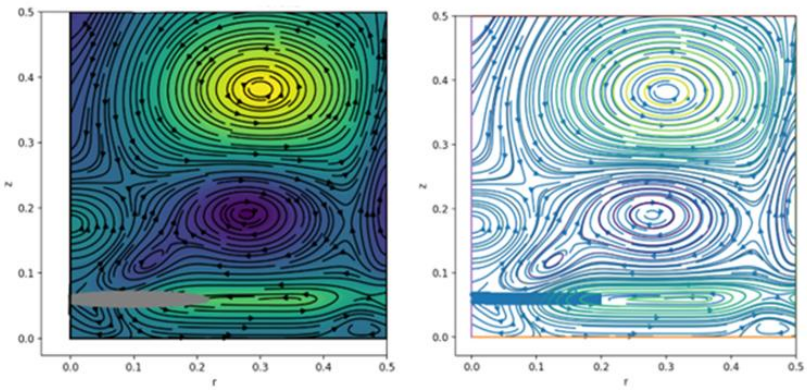

Figure 5. Flow structure in the longitudinal (meridional) section of a cylindrical reservoir with a rotating disk. On the left, the stream function field is shown with superimposed streamlines; the color scale represents the intensity of circulation. In the upper part of the reservoir, a large recirculation zone is formed with maximum values of the stream function, whereas in the central region a secondary closed structure with opposite rotation is observed. Near the disk surface, an intense radial outflow of fluid arises due to centrifugal effects. On the right, streamlines are presented, clearly identifying the boundaries of recirculation zones, separatrices, and transition regions between them. The resulting pattern reflects a complex multicellular flow structure formed by the interaction of radial outflow, axial inflow, and swirl enhanced by the rotation of the disk and the coaxial rod.

In the case of quasi-solid-body rotation $(u_\varphi = \Omega r)$, one obtains

$$p(r) = p(r_s) + (\rho\Omega^2/2)(r^2 - r_s^2)\,. \quad (53)$$

Thus, the pressure at the wall exceeds that in the inner region:

$$\nabla p_{R\to r_s} = p(R) - p(r_s) = (\rho\Omega^2/2)(R^2 - r_s^2). \quad (54)$$

This creates a tendency for fluid motion from the high-pressure region near the wall toward the lower-pressure near-axis zone. However, due to rotation and boundary conditions, the motion acquires a circulatory character: near the disk, the fluid spreads radially outward; along the wall, it rises upward; in the upper part of the reservoir, it returns toward the inner region; and then descends again in the annular zone $r \gtrsim r_s$. In the presence of an outlet with reduced pressure,

$$p_{out} < p(R, z)\,, \quad (55)$$

a localized suction region is formed in its vicinity. In this case, part of the flow is directed toward the outlet, while the remaining fluid bypasses the suction region. At the interface between these streams, a separating surface arises on which the velocity direction changes. In the meridional section, this surface corresponds to a separatrix of the stream function: on one side, the fluid is discharged toward the outlet, while on the other, it returns to the circulation cell. In this way, additional recirculation zones are formed.

In terms of dimensionless parameters, the formation of secondary recirculation zones is governed by the relationship between the rotational Reynolds number Re_Ω, the swirl parameter S, and the flow-rate parameter C_Q (28). At low values of Re_Ω, viscous effects suppress the development of secondary vortices, and the flow remains relatively smooth. As Re_Ω increases, inertial and centrifugal effects become dominant, leading to enhanced radial transport and the formation of pronounced recirculation zones. An increase in the swirl parameter S results in higher angular momentum of the flow and a reduction of pressure in the inner region, whereas an increase in the flow-rate parameter C_Q causes deformation of the primary circulation and promotes the formation of additional local vortex cells near the outlet.

Thus, secondary recirculation zones arise when regions with opposite directions of meridional velocity exist within the flow. Mathematically, this is manifested by the appearance of multiple critical points of the stream function

$$\nabla\psi = 0, \quad (56)$$

as well as by a change in the sign of the azimuthal component of vorticity and the formation of separatrices that divide flows directed toward the outlet from those returning into the reservoir volume.

The rotating disk generates radial outflow, the rod enhances swirl in the near-axis annular region, the tangential inflow increases the angular momentum of the flow, and the radial outflow creates a localized low-pressure region. The sidewalls, due to impermeability conditions, force the flow to change direction and close into circulation loops. The combined action of these factors leads to the formation of a complex multicellular flow structure, including closed recirculation zones in the central (annular), sidewall, upper, and near-bottom regions of the reservoir.

8. Conical recirculation zone above the disk. A localized recirculation zone of conical shape is formed above the surface of the rotating disk, located in the transition region between the downward axial flow and the radial outflow of fluid.

Its formation is due to the interaction of two mechanisms: the radial outflow induced by centrifugal forces near the disk, and the axial inflow of fluid in the near-axis annular region. In the region where these flows intersect, a zone of intense shear arises with elevated velocity gradients, leading to the closure of streamlines and the formation of a local vortex structure.

In the first approximation, this zone may be described as a local perturbation of the stream function:

$$\psi_8(r, z) = A\exp(-[(r - \alpha z)^2/\sigma_r^2] - [(z - z_0)^2/\sigma_z^2])\,, \quad (57)$$

where the parameter α defines the inclination of the generatrix of the conical structure. The corresponding velocity components are determined from the stream function as:

$$\begin{cases} u_r = (1/r)(\partial\psi_8/\partial z) \\ u_z = -(1/r)(\partial\psi_8/\partial r) \end{cases} \quad (58)$$

The conical recirculation zone acts as a transition region in which momentum is redistributed between axial and radial motion. It serves as a source of local vorticity amplification and represents the initial region for the formation of tertiary vortex structures propagating along separatrices between the primary recirculation zones.

In the presence of a coaxial rotating rod, the structure of this zone acquires an annular character: the apex of the vortex region is formed not on the axis $r = 0$, but near the inner boundary $r \approx r_s$. This leads to a displacement of the zone and a modification of its geometry compared to the classical axisymmetric case.

In a real system, the shape of this zone deviates from axisymmetry under the influence of tangential inflow and radial outflow of fluid. This results in a displacement of the vortex axis and deformation of its geometry; however, the overall formation mechanism remains unchanged.

9. Exchange between primary and secondary recirculation zones. The exchange between recirculation zones and the main flow in a rotating reservoir is governed by the Navier–Stokes equations and is determined by the continuity of the velocity field, momentum transport, and vorticity diffusion. Viscosity and shear stresses play a key role in this process. The global flow structure is defined by the main flow paths, including axial transport, radial outflow, and return motion along the walls. Recirculation zones are regions with closed streamlines, separated from the main flow by separatrices. However, due to viscosity, these zones are not completely isolated and remain in continuous exchange with the surrounding flow.

In an ideal inviscid fluid, streamlines coincide with particle trajectories, and the boundaries between zones are material surfaces. In a viscous fluid, this condition is violated, since the shear stresses

$$\tau_{ij} = \mu(\partial u_i/\partial x_j) \quad (59)$$

ensure momentum transfer across the boundaries of the zones.

In the vicinity of separatrices, shear layers are formed in which significant velocity gradients are observed,

$$\partial u/\partial n \neq 0\,, \qquad (60)$$

where n is the normal to the interface. These regions act as zones of intense exchange, since viscosity induces momentum diffusion. The corresponding process is described by the momentum equation

$$\rho\,(\mathbf{u}\cdot\nabla)\,\mathbf{u} = -\nabla p + \mu\,\Delta\,\mathbf{u}\,. \qquad (61)$$

where the term $\mu\,\Delta\,\mathbf{u}$ represents viscous transport of momentum. The energy exchange is characterized by the kinetic energy balance equation:

$$\partial(u^2/2)/\partial t + \mathbf{u}\cdot\nabla\,(u^2/2) = \\ = -(1/\rho)\,\mathbf{u}\cdot\nabla p + \nu\,\mathbf{u}\cdot\Delta\,\mathbf{u}\,. \qquad (62)$$

The last term can be expressed in the form

$$\nu\,\mathbf{u}\cdot\Delta\,\mathbf{u} = -\nu\,|\nabla\,\mathbf{u}|^2 + \nu\nabla\cdot(\mathbf{u}\,\nabla\,\mathbf{u})\,, \qquad (63)$$

which shows that part of the energy is dissipated, while another part is transported across the boundaries of the zones.

An important role is also played by vorticity transport, described by the equation

$$D\boldsymbol{\Omega}/Dt = (\boldsymbol{\Omega}\cdot\nabla)\,\mathbf{u} + \nu\,\Delta\,\boldsymbol{\Omega}\,. \qquad (64)$$

The diffusive term $\nu\Delta\,\boldsymbol{\Omega}$ leads to the "smearing" of vortex structures and their penetration across the boundaries of recirculation zones. In regions with large velocity gradients, an intense exchange of vorticity occurs between the main flow and vortex cells.

In the system under consideration, this exchange is enhanced by the presence of a coaxial rotating rod, which forms an additional shear layer in the near-axis region $r \approx r_s$, as well as by tangential inflow and radial outflow, which create spatial non-uniformity in the pressure and velocity fields.

The nature of this exchange is determined by the ratio of convective to diffusive transport, characterized by the Reynolds number:

$$Re = UL/\nu\,. \qquad (65)$$

At high values of Re, convection dominates, the boundaries of recirculation zones become sharper, and the exchange is localized within thin shear layers. At low Re, viscosity smooths the gradients, leading to blurred boundaries and enhanced exchange.

In practice, the exchange proceeds as follows: the main flow, moving along the global circulation, generates velocity gradients at the boundary of a recirculation zone. Viscosity transports momentum into the zone, sustaining circulation within it, while part of the fluid from the zone returns to the main flow through regions where streamlines converge and the pressure gradient changes sign. This process is accompanied by energy dissipation:

$$\varepsilon = \nu|\nabla\,\mathbf{u}|^2\,. \qquad (66)$$

Thus, recirculation zones represent open dynamic structures that are in continuous exchange with the main flow. Their existence and stability are determined by the balance between convective transport, viscous diffusion, and energy dissipation.

In multicellular flows, in addition to primary and secondary recirculation zones, more complex spatial vortex structures are formed, which in the present work are referred to as tertiary vortices.

10. Tertiary vortex as a spatial structure.

In contrast to secondary recirculation zones, a tertiary vortex represents a three-dimensional spatial structure distributed throughout the volume and formed as a system of spiral layers. It can be interpreted as a hollow conical multilayer vortex shell, localized along the separatrices of recirculation zones and forming around the central rotating rod. Each layer of this structure corresponds to an individual separatrix or a region of sharp vorticity variation, which gives the vortex its multilayer character. In a cylindrical reservoir of radius R and height H with a rotating disk of radius b, the tertiary vortex is formed as a spatial layered (quasi-developable) structure with a thickened base near the disk and narrowing with distance from it. The vortex geometry is defined by the radius of the vortex shell, varying with height:

$$r_v(z) = r_s + (b - r_s)\big(1 - (z/H)\big)^n, \qquad (67)$$

where r_s is the rod radius and $n > 1$ is a parameter controlling the thickening of the vortex near the disk. If a more general approximation is required, the expression

$$r_v(z) = r_s + r_{min} + (r_{max} - r_{min})\big(1 - (z/H)\big)^n \qquad (68)$$

can be used.

The asymmetry of the hollow tertiary vortex structure, caused by radial outflow of fluid, is taken into account by introducing an angular dependence.

$$r_v(z,\theta) = r_v(z)[1 + \varepsilon\cos(\theta - \theta_0)],\ r_v > r_s\,. \qquad (69)$$

where $\varepsilon \ll 1$, and θ_0 denotes the direction of the outflow. The velocity field within the vortex may be represented as

$$\begin{cases} u_r \approx U_0\big(1 - (z/H)\big)\big(1 - (r_s^2/r^2)\big)\,, \\ u_\varphi \approx \Omega r\exp(-z/\delta)\,, \\ u_z \approx -W_0\left(1 - (r_s^2/r^2)\right)\exp(-(r - r_s)^2/r_v^2(z))\,, \end{cases} \qquad (70)$$

which reflects the combined action of radial outflow, azimuthal rotation, and axial inflow. The spiral structure of the vortex (motion along layers) is determined by the kinematic relation

$$d\varphi/dz = u_\varphi/r_v\,u_z, \qquad (71)$$

which, on the surface of the vortex shell $r = r_v(z)$, takes the form

$$d\varphi/dz = u_\varphi/r_v(z)\,u_z \qquad (72)$$

Under the approximation $u_\varphi \approx \Omega r$, we obtain

$$d\varphi/dz \approx \Omega/\,u_z\,, \qquad (73)$$

which shows that the pitch of the spiral is determined by the ratio between rotation and axial transport.

The axial vorticity is defined as

$$\zeta = (1/r)\big(\partial\left(ru_\varphi\right)/\partial r\big) \qquad (74)$$

and, taking into account the variation of the vortex radius (deformation), it can be estimated as

$$\zeta(z) \sim \zeta_0(r_{max}/r_v(z))^2 \qquad (75)$$

which corresponds to vorticity amplification as the structure contracts due to vortex-line stretching.

The surface of the vortex shell of the tertiary vortex is defined by the function

$$\Phi(r,\theta,z) = r - r_v(z) = 0\,,\ r > r_s \qquad (76)$$

and the condition of its transport by the flow, $D\Phi/Dt = 0$, leads to the kinematic relation

$$u_r - (dr_v/dz)u_z = 0\,, \qquad (77)$$

which, in the presence of asymmetry, generalizes to

$$u_r - (\partial r_v/\partial z)u_z - (1/r)(\partial r_v/\partial\theta)u_\varphi = 0\ . \quad (78)$$

The thickness of the vortex layers is estimated as

$$\delta(z) \sim \sqrt{\nu/\Omega} + \alpha[r_v(z) - r_s]\ , \quad (79)$$

which reflects the thickening of the structure near the disk and its contraction with increasing height. Thus, the tertiary vortex represents a deformed hollow conical multilayer vortex shell with an asymmetric axis and variable layer swirl, formed under the action of centrifugal outflow, axial inflow, and local pressure gradients.

The presence of a central rod fundamentally alters the vortex structure: it forms not around the axis $r = 0$, but around the inner boundary $r = r_s$, resulting in a hollow vortex shell. In the region $0 \le r < r_s$, motion is absent, and on the rod surface the no-slip and impermeability conditions are satisfied:

$$u_r = 0,\ u_z = 0,\ u_\varphi = \Omega\, r_s. \quad (80)$$

Thus, the rod suppresses the formation of an axial jet, redistributes the flow into the annular region, and leads to the transformation of the tertiary vortex from a solid structure into a hollow spiral shell with asymmetric geometry. It should be noted that the proposed model of the tertiary vortex (Fig. 6) is approximate in nature and reflects the qualitative flow structure consistent with the Navier–Stokes equations, but does not represent their exact analytical solution.

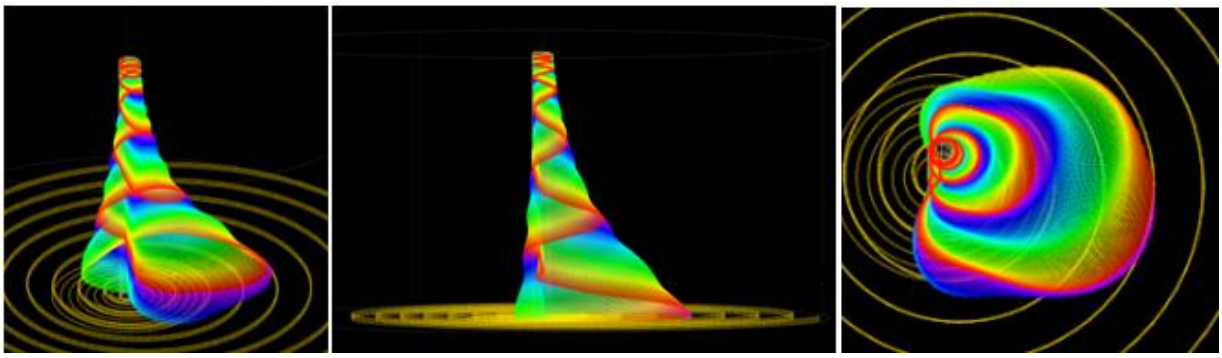

Figure 6. Tertiary vortex as a three-dimensional multilayer spiral structure formed in a system with a rotating disk and a coaxial rod. The vortex has a hollow conical shape with a thickened base near the disk and narrowing with increasing height. Its structure is asymmetric with respect to the axis of rotation and is localized along the separatrices of recirculation zones. Unlike classical axisymmetric vortices, the vortex considered here represents a deformed spatial shell with variable swirl, formed as a result of the interaction of radial outflow, axial inflow, and local pressure gradients caused by fluid outflow.

11. Discussion. Comparative dynamics of vortex formation in related system. The flow considered in a cylindrical reservoir with a rotating disk, tangential inflow, and radial outflow exhibits several features common to classical problems of vortex formation in rotating fluid volumes with drainage. Despite differences in geometry and boundary conditions, these systems share a common mechanism of vortex generation associated with the transport and stretching of vorticity in the presence of radial flow and an axial pressure gradient.

In the system with a rotating disk, vortex motion is generated by the transfer of angular momentum from the disk to the fluid and the subsequent radial outflow, which induces a compensating axial inflow. In systems without a disk but with a rotating fluid volume and drainage, a similar radial transport is formed within Ekman boundary layer. Despite the difference in mechanisms, in both cases vorticity is transported toward regions of reduced pressure and subsequently amplified due to vortex-line stretching.

Additional insight into the flow structure is provided by comparison with the classical von Kármán solution [1]. In that problem, the flow near an infinite rotating disk in an unbounded quiescent fluid admits a self-similar solution describing radial outflow, axial inflow, and decay of swirl with distance from the disk. In the present study, this structure is preserved only in the vicinity of the disk surface and may be interpreted as a local asymptotic behavior of the flow. However, the finite size of the reservoir, the presence of sidewalls, and the inlet and outlet conditions lead to the breakdown of self-similarity and the formation of a substantially more complex three-dimensional flow field.

A more detailed understanding of the formation of recirculation flows in a cylindrical reservoir with a rotating disk and rod is provided by the analysis of the regime diagram, which makes it possible to establish the relationship between the rotational Reynolds number Re_Ω, the swirl parameter S, the dimensionless radial outflow intensity C_Q (28), and the processes of shear-layer instability leading to the formation of complex three-dimensional vortex structures (Fig. 7).

The regime diagram shows that the flow evolution is governed by the competition between viscous diffusion, centrifugal transport of angular momentum, tangential swirl injection, and localized pressure gradients arising due to radial fluid outflow.

At low values of the rotational Reynolds number Re_Ω and weak swirl intensity S viscous effects dominate and suppress the formation of secondary structures. In this regime, the flow remains nearly axisymmetric and is characterized by a single global meridional circulation cell. The streamlines are smooth, and perturbations decay rapidly due to viscous dissipation. The characteristic balance in this region may be estimated by the condition $\nu/R^2 \gg \Omega\ or\ Re_\Omega \gg 1$, which corresponds to the dominance of viscous diffusion over rotational transport.

As the swirl parameter increases, the balance between centrifugal forces and viscous diffusion changes.

The primary circulation loses stability, and additional recirculation zones appear in the meridional plane. These regions are separated by separatrices along which intense shear layers are formed. The emergence of such layers corresponds to the transition from Regime I to Regime II in the regime diagram. The critical points of the meridional flow are determined by the condition

$$\nabla\psi = 0, \qquad (81)$$

where $\psi(r, z)$ is the stream function of the axisymmetric circulation.

A further increase in the swirl parameter and the rotational Reynolds number leads to the destabilization of the separatrix surfaces themselves. In this regime, localized maxima of axial vorticity arise, and spiral structures develop in transverse cross-sections of the reservoir. The axial vorticity is defined as

$$\Omega_z = \left(\partial u_y/\partial x\right) - \left(\partial u_x/\partial y\right). \qquad (82)$$

These structures correspond to the formation of tertiary vortices and represent the first stage of three-dimensional breakdown of axial symmetry. Unlike classical compact vortex cores, the tertiary vortex in the present system develops as a distributed annular spiral structure surrounding the rotating rod.

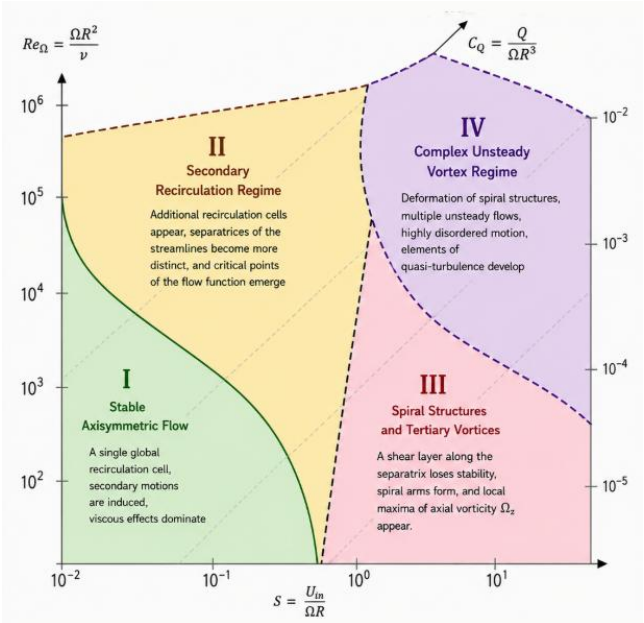

Figure 7. Flow regime diagram in a cylindrical reservoir with a rotating disk, rod, tangential inlet and radial outlet (Transitions between the regimes are governed by the competition between viscous dissipation, centrifugal transport of angular momentum, flow swirl, and localized pressure reduction in the fluid outflow region).

The spiral modulation of the tertiary vortex may be represented in the form

$$\Omega_z(r, \varphi, z, t) = \Omega_0(r, z) + A(r, z)\cos(m\varphi - \\ - \omega t + \beta z), \qquad (83)$$

where m is the azimuthal mode number, β is the axial spiral pitch parameter, and ω is the precession frequency of the spiral structure. A more detailed analysis of the spatial modes governing the helical structure of swirling flow in a cylindrical reservoir with a stationary central rod is presented in the work of Milyute & Milyus [18].

The regime diagram also demonstrates that the transition toward tertiary vortex formation strongly depends on the interaction between tangential inflow and radial fluid outflow. The radial outlet creates a localized low-pressure region that bends streamlines toward the sidewall and enhances azimuthal shear. The characteristic pressure gradient in this case may be estimated as

$$\partial p/\partial r \sim \rho\, u_\theta^2/r\,. \qquad (84)$$

This mechanism shifts the instability threshold toward lower values of Re_Ω compared with the classical problem of a rotating disk in a closed volume.

An important feature of the considered system is that the tertiary vortex develops within a relatively thin shear layer surrounding the separatrix surfaces. If the layer thickness satisfies the condition $\delta_s \ll R$, the vorticity becomes concentrated within a narrow spiral-conical region rather than forming separate volumetric vortex cells. In this case, the vortex structure behaves as a single coherent spiral shell whose transverse cross-section appears as a continuous spiral pattern.

In the region of large values of Re_Ω, S and C_Q , the flow transitions into a complex unsteady vortex regime. In this state, spiral structures lose coherence, multiple interacting recirculation zones appear, and the flow exhibits features of quasi-turbulent behavior. The boundaries between individual vortex regions become strongly deformed, and processes of local vortex merging and breakdown may occur.

An important result of the present study is that the tertiary vortex regime occupies an intermediate position between stable axisymmetric circulation and fully disordered vortex motion. Thus, the tertiary vortex should be interpreted not as a random local instability, but as an organized stage of spatial flow restructuring associated with the progressive destabilization of separatrix shear layers.

Therefore, the transition boundaries in the regime diagram should not be interpreted as strict critical curves, but rather as finite transition regions whose location is determined by the combined influence of ro-

tation, inflow swirl, viscous diffusion, and pressure gradients arising in the radial outflow region.

Table 1.

Comparison of the classical von Kármán solution and the proposed flow model in a cylindrical reservoir with a rotating disk and a coaxial rod.

Feature	von Kármán Model	Proposed Model
Geometry	Infinite rotating disk	Bounded cylindrical vessel
Boundaries	None (unbounded fluid)	Side wall, bottom, top lid
Inner boundary	None	Rotating shaft (core), $r=r_s$
Flow type	Axisymmetric	Three-dimensional, asymmetric
Self-similarity	Exists	Broken (locally valid near disk)
Radial flow	Outward from axis	Outward in annular zone $r \gtrsim r_s$
Axial structure	Inflow toward axis	Inflow in near-shaft annular zone
Swirl source	Disk only	Disk + shaft + tangential inlet
Recirculation zones	None	Multi-cell structure (9 zones)
Separatrices	None	Present
Secondary flows	Weak	Well developed
Tertiary vortex	Absent	Forms (multi-layer structure)
Pressure	Determined locally	Determined by global flow structure
Outlet influence	None	Deforms flow, asymmetry ε
Primary regime	Boundary layer	Global circulation + local layers

A key distinguishing feature of the configuration under consideration is the presence of a coaxial rotating rod (kern). Its presence significantly modifies the flow structure in the near-axis region: the formation of an axial jet in the region $r \rightarrow r_s$, is suppressed, the flow acquires an annular character, and the angular momentum distribution becomes more uniform. As a result, the rotating rod (kern) modifies the distribution of velocity gradients and reduces the sharpness of the boundaries between recirculation zones, partially smoothing the structures associated with different circulation cells.

In contrast to the classical von Kármán problem, where the flow remains single-celled and does not contain closed recirculation regions, the present system exhibits a multicellular structure, including several recirculation zones separated by separatrices. These zones interact both with each other and with the main flow, forming a complex spatial organization.

Thus, the flow model in a reservoir with a rotating disk and a core may be regarded as a generalization of the von Kármán solution to the case of confined geometry with an internal rotating boundary and external sources and sinks of momentum. This generalization makes it possible to describe the formation of multilevel vortex structures, including tertiary vortices arising from the interaction between global circulation and local shear regions.

This similarity allows the use of results obtained for draining flows in rotating reservoirs, as well as the classical von Kármán solution, to interpret vortex dynamics in the present system. It is shown that the vortex circulation increases over time and reaches a quasi-steady value on a characteristic timescale determined by viscosity and system geometry. Despite differences in the sources of rotation, the resulting vortex structure is characterized by the concentration of vorticity in a confined region, the formation of an annular core, and a complex system of recirculation zones. Comparison with the classical von Kármán solution shows that, in the present problem, the flow structure becomes significantly more complex due to the finite geometry of the reservoir, the presence of a coaxial rotating rod, as well as fluid inflow and outflow. While in the von Kármán model the flow is described by a single self-similar structure without closed regions, the system considered here exhibits a multicellular flow with pronounced recirculation zones separated by separatrices. Thus, the confined geometry of the reservoir, the presence of the rotating rod, and the interaction between fluid inflow and outflow lead to a qualitatively new type of multicellular swirling flow that cannot be described within the framework of the classical self-similar von Kármán theory.

The boundaries between the indicated recirculation zones correspond to separatrix surfaces characterized by elevated velocity gradients and concentrated vorticity. Thin shear layers are formed along these surfaces, and the loss of stability of these layers leads to the emergence of three-dimensional spiral structures. This mechanism is considered to be the basis for tertiary vortex formation in the investigated system.

Figure 8 shows that the flow structure in the longitudinal (meridional) section of the rotating reservoir with a disk, constructed based on the stream function field and streamlines. The coordinate axes correspond to the radial direction r and the axial direction z. The streamlines form both closed and open trajectories, reflecting the presence of several stable recirculation zones, each highlighted by color and numbered.

In the upper part of the reservoir, a large recirculation zone (zone 1) is formed, representing a closed vortex with its center located around $z \approx 0.4$. It is associated with the return motion of fluid from the wall toward the inner region and is characterized by a rela-

tively smooth velocity distribution and weak pressure gradient. Below this, a central recirculation zone (zone 5) is located in the region $z \approx 0.2$. This zone has a more compact structure and forms as a result of the interaction between the descending flow in the near-axis annular region and the radial outflow from the disk.

Near the bottom of the reservoir, an elongated region of radial flow (zone 2) is observed, corresponding to fluid motion from the inner region toward the periphery along the surface of the disk. This region has the character of a boundary layer and is governed by centrifugal effects. In the lower right part, a local near-bottom recirculation zone (zone 7) is formed, arising from the interaction of the main flow with the boundary conditions at the wall and the influence of radial outflow.

Along the right sidewall, an upward flow (zone 4) develops, closing the global circulation: fluid reaching the periphery rises along the wall and returns to the upper part of the reservoir. In the left part of the domain, a lateral recirculation zone (zone 3) is observed, associated with the redistribution of flow between radial and axial velocity components. The presented structure confirms the multicellular nature of the flow and the presence of complex interactions between recirculation zones.

Particular attention should be given to the small-scale local structures in the lower central region. The conical recirculation zone above the disk (zone 8) has an elongated shape and arises in the region of sharp flow redirection during the transition from axial motion to radial outflow. Directly above it, a transitional axial recirculation (zone 9) is formed, acting as a buffer region between the descending axial flow and the conical vortex structure. In the lower left corner, an additional near-bottom zone (zone 6) appears, associated with flow deceleration near the wall and a change in velocity direction.

The use of the stream function formulation automatically satisfies the continuity equation and allows for an accurate description of streamline structure. The obtained numerical results were used for qualitative verification of the proposed flow model, which includes a descending flow in the near-axis annular region, radial outflow from the disk, upward motion along the sidewall, and a system of recirculation zones (Fig. 8). Theoretical estimates were compared with numerical simulations performed in Python. It is shown that the flow structure, including the formation of nine recirculation zones, is qualitatively reproduced in the computations. A good agreement is observed for the key flow features: the descending flow, radial outflow from the disk, and upward motion along the wall. Local vortex structures near the bottom and in the region of fluid extraction are also correctly captured. This agreement indicates the adequacy of the proposed mathematical model and its capability to describe the complex three-dimensional vortex structure of the flow in the system under consideration.

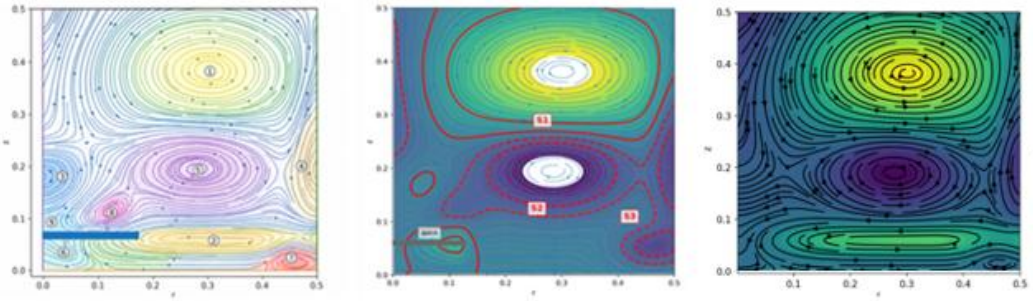

Figure 8. Left: Multicellular flow structure in the meridional section of the reservoir with a rotating disk, showing nine recirculation zones and streamlines. In the center: Separatrices of secondary recirculation zones (red lines) in the meridional section of the flow. Right: The lines correspond to stream-function levels passing through saddle points and separating closed vortex regions.

Thus, the obtained flow pattern demonstrates a complex multicellular structure formed as a result of the interaction between disk and rod rotation, fluid viscosity, and boundary conditions. Each recirculation zone corresponds to a local extremum of the stream function and is characterized by closed streamlines, indicating stable vortex motion. The ensemble of these zones determines the global circulation of the fluid and the distribution of momentum in the system.

12. Remark. The identification of separatrices of secondary recirculation zones is of both theoretical and practical importance. Separatrices represent special streamlines that divide regions with different directions of motion and define stable trajectories of fluid particles. In a steady laminar regime, passive tracers (e.g., dye) introduced into the flow move along streamlines and therefore tend to accumulate near separatrices or follow them. Thus, tracer visualization can serve as an effective experimental method for identifying the flow structure and the boundaries of recirculation zones.

Analysis of the velocity distribution near the separatrices makes it possible to estimate the intensity of transport and the character of impurity propagation. In regions with low velocities, particle retention and accumulation are observed, whereas in zones with higher velocities rapid redistribution occurs along the streamlines.

In the system under consideration, the rotating disk and the coaxial core play a crucial role. The disk generates radial outflow and enhances the non-uniformity of momentum distribution, leading to the development of a pronounced multicellular flow structure. At the same time, the core exerts a stabilizing influence on the near-axis region: it smooths velocity gradients and reduces the sharpness of boundaries between adjacent recirculation zones. In particular, a re-

duction in contrast between zones 1 and 5 and partial homogenization of their structure are observed (Fig. 8).

Thus, the key factors governing vortex structure formation are swirl, radial transport, the presence of low-pressure regions, and the influence of the internal solid boundary. The configuration under consideration may be interpreted as a generalization of classical vortex-formation problems in rotating fluids, supplemented by the effects of a rotating disk and a kern.

13. Conclusion. The present study investigates the flow structure of a viscous incompressible fluid induced by a rotating disk in a cylindrical reservoir with tangential inflow and radial outflow. Based on the Navier–Stokes equations in cylindrical coordinates and the von Kármán solution, a mathematical model has been developed that describes both the local boundary-layer structure and the global circulation within the reservoir. Numerical simulations correctly reproduce the characteristic features of flow over a rotating disk, including the distribution of azimuthal velocity and the boundary-layer scale, confirming the adequacy of the proposed approach.

It is shown that the combined action of disk rotation, tangential inflow, and radial outflow leads to the formation of a complex multicellular flow structure. In a confined domain, additional recirculation zones arise that are absent in the classical self-similar solution, due to the influence of geometry and non-uniform boundary conditions. Each zone corresponds to a local balance between inertial, centrifugal, and viscous forces.

The existence of a conical recirculation zone above the disk, as well as a transitional region ensuring the matching between axial and radial motion, has been established. Accounting for these structures is essential for a consistent description of the velocity field and for avoiding nonphysical discontinuities in streamline patterns. Vorticity analysis reveals its concentration in regions of intense shear, particularly near the disk surface and along the boundaries of recirculation zones.

A key result of this work is the identification of a tertiary vortex, representing a three-dimensional multilayer spiral structure localized along the separatrices of recirculation zones. Unlike secondary vortices, it is distributed throughout the volume and possesses a well-defined geometry. It is shown that this vortex has a conical shape with a thickened base near the disk and narrowing with height, associated with centrifugal and inertial effects. It is further demonstrated that the presence of a coaxial rotating rod leads to a qualitative restructuring of the flow: the central region is excluded from the flow domain, resulting in the formation of a hollow vortex structure. Under these conditions, the tertiary vortex takes the form of a multilayer spiral shell surrounding the rod and localized along separatrices. This is accompanied by a redistribution of velocity and vorticity, as well as a smoothing of boundaries between individual recirculation zones.

Thus, it is shown that even in a relatively simple configuration, a hierarchy of vortex structures of different scales - from primary to tertiary - emerges. The results demonstrate that flow in confined systems exhibits pronounced spatial inhomogeneity and cannot be reduced to axisymmetric solutions.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the obtained results to control flow structure, mixing processes, and scalar transport in engineering systems, including hydrodynamic devices and swirling flow apparatuses.

Future research directions include accounting for unsteady effects, transition to turbulence, and analysis of the stability of recirculation zones and the spatial structure of the tertiary vortex.

References

1. von Kármán T. Über laminare und turbulente Reibung // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. 1921. Bd. 1. S. 233–252.

2. Cochran W.G. The flow due to a rotating disk // Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. 1934. Vol. 30. P. 365–375.

3. Prandtl L., Tietjens O.G. Applied Hydro- and Aeromechanics. New York: Dover Publications, 1949. 311 p.

4. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. 9th ed. Berlin: Springer, 2017.

5. Batchelor G.K. Note on a Class of Solutions of the Navier–Stokes Equations Representing Steady Rotationally Symmetric Flow // The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. 1951. Vol. 4, No. 1. P. 29–41

6. Prandtl L., Tietjens O.G. Applied Hydro- and Aeromechanics. New York: Dover Publications, 1957.

7. Munro R.J., Foster M.R. Vortex evolution in a rotating tank with an off-axis drain // Journal of Fluid Mechanics. 2021.

8. White F.M. Viscous Fluid Flow. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

9. Panton R.L. Incompressible Flow. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2013.

10. Greenspan H.P. The Theory of Rotating Fluids. Cambridge: Cambridge University Press, 1968.

11. Daily J.W., Nece R.E. Chamber dimension effects on induced flow and frictional resistance of enclosed rotating disks // Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. P. 217–232.

12. Owen J.M., Rogers R.H. Flow and Heat Transfer in Rotating-Disc Systems. Vol. 1. Rotor–Stator Systems. Taunton: Research Studies Press, 1989.

13. Dorfman L.A. Hydrodynamic Resistance and the Heat Loss of Rotating Solids. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1963.

14. Kundu P.K., Cohen I.M., Dowling D.R. Fluid Mechanics. 6th ed. Amsterdam: Elsevier, 2016.

15. Lopez J.M., Marques F., Avila M. Dynamics of rotating flows: vortices, instabilities and transition // Journal of Fluid Mechanics. 2015. Vol. 778. P. 1–32.

16. Escudier M.P. Observations of the flow produced in a cylindrical container by a rotating endwall // Experiments in Fluids. 1984. Vol. 2. P. 189–196.

17. Serre E., Bontoux P., Crespo del Arco E. Secondary flow in a rotor–stator system // Physics of Fluids. 2001. Vol. 13. P. 148–163.

18. Milyute E., Milyus A. Spatial modes and helical structure of swirling flow in a cylindrical reservoir with a stationary central rod. In print. 2026

PSYCHOLOGICAL SCIENCES

ПРАГМАТИКА АПРОБАЦИИ ПРОГРАММЫ НЕЙРОПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОФИЛАКТИ И КОГНИТИВНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Кудинова Т.А.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, профессор кафедры педагогики с курсом духовных основ медицинской деятельности, доктор филологических наук, доцент
Шолудченко И.Е.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, доцент кафедры педагогики с курсом духовных основ медицинской деятельности, кандидат педагогических наук, доцент

PRAGMATICS OF TESTING THE PROGRAM OF NEUROPSYCHOLOGICAL PREVENTION AND COGNITIVE PLASTICITY

Kudinova T.
Doctor of Philology, Associate Professor, Professor; Rostov State Medical University of the Health Ministry of Russian Federation,
Sholudchenko I.
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor; Rostov-on-Don; Rostov State Medical University of the Health Ministry of Russian Federation
DOI: 10.5281/zenodo.20456467

Аннотация

В статье представлен теоретико-эмпирический анализ современных подходов к профилактике когнитивного снижения и сохранения когнитивной пластичности у лиц среднего возраста (40–60 лет). Рассматриваются особенности возрастной динамики когнитивных функций, влияния внутренних и внешних факторов, а также эффективность когнитивных, поведенческих и технологических интервенций. Обосновано применение скрининговых методик (Mini-Cog, MoCA, MMSE) и современных цифровых инструментов в диагностике и профилактике. Представлена модель комплексной программы нейропсихологической профилактики и результаты её апробации. Показано, что интегративный подход, сочетающий когнитивные тренировки, физическую активность и метакогнитивные стратегии, обеспечивает наиболее устойчивый эффект.

Abstract

The article presents a theoretical and empirical analysis of modern approaches to the prevention of cognitive decline and the preservation of cognitive plasticity in middle-aged people (40-60 years). The features of age-related dynamics of cognitive functions, the influence of internal and external factors, as well as the effectiveness of cognitive, behavioral and technological interventions are considered. The use of screening techniques (Mini-Cog, MoCA, MMSE) and modern digital tools in diagnosis and prevention is substantiated. A model of a comprehensive neuropsychological prevention program and the results of its testing are presented. It has been shown that an integrative approach combining cognitive training, physical activity, and metacognitive strategies provides the most sustainable effect.

Ключевые слова: когнитивная пластичность, средний возраст, когнитивное старение, нейропсихологическая профилактика, когнитивный резерв, MoCA, MMSE, Mini-Cog, когнитивные тренировки.

Keywords: cognitive plasticity, middle age, cognitive aging, neuropsychological prevention, cognitive reserve, MoCA, MMSE, Mini-Cog, cognitive training.

Современная демографическая ситуация характеризуется ускоренным процессом старения населения. Прогнозы ООН старения лиц старше 65 лет к 2050 году составят примерно 20% от общего количества населения. Данная тенденция обусловливает необходимость комплексного исследования психологических аспектов и когнитивных изменений, сопутствующих геронтогенезу [24] и делает крайне актуальной разработку мер для поддержания психического, физического, социального и экономического благополучия в пожилом возрасте.

Актуальность проблемы повышения эффективности мнестических и аттенционных процессов

является предметом широкого общественного интереса. Центральная нервная система, в частности головной мозг, представляет собой фундаментальный ресурс, определяющий качество жизнедеятельности индивида. Возникновение дисфункций, проявляющихся в затруднениях при воспроизведении информации или снижении концентрации внимания в критических ситуациях, вызывает закономерное чувство фрустрации.

На данном этапе развития человечества, начиная со среднего возраста, с одной стороны, наблюдается возрастающая распространенность когнитивных нарушений, с другой – возникает насущная потребность в их превентивных мерах. Период 40-60 лет признается критическим для формирования когнитивного резерва и предотвращения нейродегенеративных процессов [1; 2]. В рамках данного возрастного контингента, несмотря на сохранность фундаментальных интеллектуальных функций, отмечается дефицит в скорости информационного процессинга, концентрации внимания и рабочей памяти [3].

Целью данного исследования является анализ применения комплексной программы нейропсихологической профилактики, направленной на сохранение когнитивной пластичности у лиц среднего возраста.

Значимость данного исследования заключается в том, что профилактическая программа включает когнитивные тренировки, физическую активность, метакогнитивные стратегии и поведенческие интервенции [11; 12].

Методы исследования. Наряду с основным методом сравнительного анализа, использовалось динамическое наблюдение, а также применялась количественно- статистическая обработка данных (t-критерий Стьюдента, критерий Уилкоксона, χ^2) [10].

В качестве диагностического инструментария были использованы стандартизированные методики Mini-Cog, Montreal Cognitive Assessment (MoCA) и Mini-Mental State Examination (MMSE), обеспечивающие многомерную оценку когнитивных функций [8; 9].

Методологической базой послужили исследования И. Ф. Рощиной (в соавторстве с Н. К. Корсаковой [11] и в соавторстве с М.В. Калантаровой, А. А. Шведовской и А.И. Хромовой [27]), R. Cabeza [13], C. N. Harada [16], D. S. Knopman [20], C. K. Law (в соавторстве с F. M. Lam и R. C. Chung [21], P. Reuter-Lorenz [25], Y. Stern [29], раскрывающие нейропсихологические и когнитивно-поведенческие подходы, а также положения о когнитивном резерве.

Методологический каркас исследования формируется на основе нейропсихологической парадигмы, когнитивно-поведенческой модели и концептуализации когнитивного резерва [3; 7]. В основе теоретического аппарата работы лежат положения о когнитивном резерве, нейропластичности и многофакторной модели когнитивного старения.

В проведенном анализе внутренних и внешних детерминант когнитивных функций были учтены, с одной стороны, соматическое здоровье, образовательный уровень, сформированность когнитивного резерва, нейропсихологический профиль, а с другой – характеристика образа жизни, уровень физической активности, интенсивность стрессовых воздействий, профессиональная нагрузка, степень социальной интеграции.

Когнитивное старение рассматривается как результат сложного взаимодействия биологических, психологических и социальных факторов [4; 5]. В контексте современных исследований особое значение придается анализу модифицируемых факторов риска, таких как физическая активность, когнитивная стимуляция и поведенческие паттерны, влияющие на данный процесс [6].

Апробированная программа нейропсихологической профилактики и когнитивной пластичности характеризуется комплексным подходом, включающим когнитивные тренировки, метакогнитивные стратегии саморегуляции, поведенческие интервенции. Каждый из включённых аспектов функционально оправдан: когнитивный тренинг направлен на оптимизацию психических функций, метакогнитивные стратегии саморегуляции способствуют осознанному управлению познавательными процессами, а поведенческие интервенции ориентированы на модификацию образа жизни.

Стимуляция осуществлялась по трем направлениям: когнитивному, физическому и психосоциальному. Особенно важным в Программе нейропсихологической профилактики и когнитивной пластичности является двухуровневая организация психической деятельности, то есть учитывался семантический уровень, представленный тренинговыми модулями, и уровень личностных смыслов, реализуемый через мотивационную и ценностную стимуляцию.

Концепция активного старения трактуется как процесс, в рамках которого индивиды пожилого возраста мобилизуют свой физический, социальный и когнитивный потенциал для поддержания активной интеграции в социум. Снижение когнитивных функций выступает в качестве одного из фундаментальных биологических и психологических факторов, лимитирующих данную траекторию старения [2].

Считается, что наиболее перспективным направлением в профилактике когнитивных расстройств, связанных со старением, является мультидоменный подход, в котором когнитивная стимуляция играет роль обязательного компонента.

Теоретический анализ текущих исследований когнитивного старения позволяет идентифицировать средний возраст (40–60 лет) как ключевой этап в определении индивидуальной когнитивной траектории. Этот период характеризуется значительной вариативностью и высокой зависимостью от модифицируемых факторов [1; 4; 14]. В отличие от поздних возрастных стадий, где доминируют нейродегенеративные процессы, средний возраст определяется преимущественно функциональными изменениями. Эти изменения связаны с нейродинамикой, оптимизацией функционирования нейрон-

ных сетей и совершенствованием регуляторных механизмов когнитивной деятельности [2; 13; 25]. Следовательно, именно функциональная пластичность среднего возраста делает его наиболее перспективным для разработки и внедрения профилактических и развивающих интервенций, нацеленных на сохранение когнитивных функций.

С точки зрения нейрокогнитивной теории старения, фундаментальным процессом, обусловливающим возрастные изменения когнитивных функций, является прогрессирующее снижение функциональной целостности и эффективности фронтопариетальных сетей. Эти сети играют критическую роль в обеспечении исполнительного контроля, когнитивной гибкости и регуляции внимания [2; 3; 13]. В ответ на дефицит функциональной целостности и эффективности фронто-париетальных сетей в этих ключевых системах наблюдался феномен компенсаторной активации, заключающийся в вовлечении дополнительных нейронных ресурсов. Данное явление находит отражение в концепции нейрокогнитивного «скаффолдинга» [2], суть которой заключается в том, что в процессе старения мозг реорганизует свои функциональные связи, мобилизуя альтернативные нейронные пути для поддержания когнитивной производительности. Эти адаптивные процессы являются основой для сохранения интеллектуальной продуктивности и свидетельствуют о потенциале целенаправленного воздействия на компенсаторные механизмы посредством когнитивных тренировок [25; 27].

Концепция когнитивного резерва выступает важным элементом в осмыслении механизмов профилактики когнитивного дефицита [3; 27]. Когнитивный резерв акцентирует внимание на функциональных аспектах – способности мозга использовать накопленные стратегии обработки информации и когнитивные ресурсы для минимизации повреждений и компенсации нарушений. Примечательным фактом является то, что в содержание данной концепции включена характеристика **индивидуальных вариаций в образовательном статусе, профессиональной активности и уровне когнитивной пластичности, которые формируют адаптивный потенциал мозга, обеспечивающий его резистентность к возрастным дегенеративным процессам и патологическим изменениям. Эмпирические данные убедительно демонстрируют корреляцию между высоким уровнем когнитивного резерва и замедлением темпов снижения мнестических и исполнительных функций, а также более продуктивным применением компенсаторных стратегий при решении когнитивных задач [3; 24].**

Существенное значение в современных моделях профилактики когнитивного снижения имеет мультифакторный подход, учитывающий взаимодействие биологических, психологических и социальных факторов [6; 14]. Когнитивные функции в среднем возрасте находятся под влиянием соматического здоровья, уровня физической активности, качества сна, эмоционального состояния и социальной вовлечённости [6]. В частности, наличие таких сосудистых факторов риска, как артериальная гипертензия и метаболические нарушения, связано с ускоренным снижением когнитивных функций (особенно в области исполнительного контроля и памяти) [14], поэтому для активизации познавательных процессов потребовалось включение содержательных компонентов, направленных на изменение образа жизни и поведенческих стратегий.

Физическая активность рассматривается как один из наиболее эффективных факторов профилактики когнитивного снижения. Исследования демонстрируют, что регулярные аэробные нагрузки способствуют повышению уровня нейротрофических факторов и улучшению церебрального кровотока и сохранению структуры гиппокампа [12; 18]. Кроме того, физическая активность оказывает положительное влияние на нейродинамику, снижая утомляемость и повышая когнитивную продуктивность [12]. Важно отметить, что наибольший эффект достигается при сочетании физической и когнитивной нагрузки, что соответствует принципам интегративных программ профилактики [16].

Когнитивные тренировки являются ещё одним ключевым компонентом профилактических вмешательств. Метааналитические исследования показывают, что систематические тренировки рабочей памяти, внимания и исполнительных функций приводят к улучшению соответствующих когнитивных показателей [11; 26]. Однако вопрос о переносе этих улучшений на повседневную деятельность остаётся дискуссионным [17; 20]. В связи с этим в современных подходах акцент смещается с изолированных тренировок на развитие метакогнитивных стратегий, позволяющих участникам осознанно управлять когнитивными процессами и применять полученные навыки в реальной жизни [15].

Важным аспектом профилактики когнитивного снижения является роль эмоционально-мотивационных факторов. Уровень вовлечённости, интереса и положительного эмоционального отклика существенно влияет на эффективность когнитивных интервенций [15]. Использование шкалы Ликерта для оценки субъективной вовлечённости участников в настоящем исследовании позволило подтвердить, что высокий уровень мотивации способствует лучшему усвоению тренировочного материала и более выраженной положительной динамике когнитивных показателей.

Полученные эмпирические результаты согласуются с современными научными данными и подтверждают эффективность комплексной профилактической программы. Зафиксированная положительная динамика в обеих возрастных группах (45-55 лет и 55-65 лет и старше) свидетельствует о том, что когнитивные функции в среднем возрасте сохраняют высокий потенциал к изменению и развитию [11; 16]. Более выраженный эффект в старшей возрастной группе подтверждает гипотезу о большей чувствительности дефицитарных функций к тренировочному воздействию, что соответствует данным по принципу «задействуй или функция атрофируется» [24].

Особый интерес представляет улучшение зрительно-пространственных функций, комплекс когнитивных способностей, которые позволяют человеку воспринимать, анализировать и интерпретировать пространственные характеристики объектов и их взаимодействие, а также ориентироваться в пространстве. Эти функции обеспечивают формирование целостного зрительного образа окружающего мира, понимание его формы, размера, положения, направления и других пространственных параметров. Зрительно-пространственные функции являются ключевыми компонентами когнитивной деятельности и наиболее чувствительны к возрастным изменениям [1; 3]. Наблюдаемый умеренный прогресс в сфере абстрактного мышления может быть интерпретирован как следствие его более выраженной опоры на устойчивые долговременные когнитивные структуры и, соответственно, меньшей восприимчивости к кратковременным тренировочным интервенциям [13].

Снижение показателей по шкале нейропсихиатрической симптоматики (NPI), указывает на прагматику использования программы как в когнитивном плане, так и на уровне эмоционально-поведенческой сферы [6]. Наибольшую эффективность демонстрируют интеграцию когнитивных, поведенческих и физиологических интервенций [6; 16].

Эффективность применяемой программы дополнительно верифицируется посредством позитивных изменений в нейродинамических характеристиках и механизмах психической регуляции функционирования индивида. В частности, наблюдается снижение выраженности астенических явлений (утомляемости) при одновременном усилении способности к произвольному управлению поведением и когнитивными процессами [13].

Важно акцентировать внимание на том, что именно оптимизация нейродинамической базы и регуляторных функций является детерминантой как облегчения утомляемости, так и усиления саморегуляции, что служит дополнительным верификатором успешности примененной стратегии. Заметим: снижение уровня истощаемости и рост возможностей по самоконтролю являются прямыми маркерами повышения продуктивности системного функционирования центральной нервной системы, что, собственно говоря, является свидетельством прогресса в формировании устойчивых механизмов когнитивной саморегуляции и упорядочивания деятельности.

Когнитивные функции в среднем возрасте характеризуются относительной стабильностью при одновременном снижении отдельных динамических параметров, прежде всего скорости обработки информации, внимания и когнитивной гибкости [1; 3]. При этом сохраняется высокий потенциал нейропластичности, позволяющей компенсировать возрастные изменения за счёт функциональной перестройки нейронных сетей и формирования когнитивного резерва [2; 13].

Итак, расширенный теоретико-эмпирический анализ позволил разработать программу нейропсихологической профилактики в соответствии с современными научными представлениями о когнитивном старении и механизмах нейропластичности. Прагматика использования программы обусловлена интеграцией когнитивных, поведенческих и физиологических компонентов, что обеспечивает комплексное воздействие на когнитивную систему и способствует формированию устойчивых адаптационных стратегий.

Эмпирические данные подтверждают, что регулярные когнитивные тренировки улучшают внимание и память, однако эффект их переноса на повседневную деятельность ограничен [17]. Физическая активность способствует улучшению нейропластичности и снижению риска когнитивных процессов [18].

Развитие цифровых технологий позволяет персонализировать профилактические программы и повышать их доступность [19]. В программу дополнительно к методикам были включены цифровые приложения CogniFit, NeuroNation, MoCA Cognition, Lumosity (ограниченно) для наработки и тренировки навыков.

Следует отметить: проблема стандартизации и доказательности использования программы остаётся в стадии совершенствования [20].

В рамках проведённого исследования была разработана и апробирована комплексная программа нейропсихологической профилактики, включающая когнитивные тренировки и стимуляция, направленная на развитие стратегий обработки информации, метакогнитивное обучение и элементы физической активности и поведенческой регуляции. Значение программы оценивалось по параметрам использования стандартизированных методик Mini-Cog, MoCA и MMSE, а также расширенной нейропсихологической диагностики [8; 9].

Психометрическое обследование проводилось до и после реализации программы, что позволило выявить динамику когнитивных показателей и оценить влияние вмешательства.

Анализ результатов показал наличие статистически значимой положительной динамики в обеих возрастных группах (40–54 и 55–60 лет), что подтверждает эффективность программы в отношении широкого спектра когнитивных функций [11; 15]. Во всех используемых методиках зафиксировано улучшение показателей после прохождения программы, что согласуется с данными о возможности модификации когнитивных траекторий в среднем возрасте [14].

Надо отметить, что, несмотря на более низкие исходные показатели в старшей возрастной группе (55–60 лет), наблюдается ярко выраженный эффект. В данной группе зафиксирован значительный прирост по ряду шкал. Так, в расширенной оценке когнитивных функций было увеличение показателей зрительно-конструктивных навыков (Δ=+2,0) и речи (Δ=+0,5), а по шкале MMSE – рост ориентировки во времени (Δ=+6) и концентрации внимания (Δ=+4). Эти данные свидетельствуют о высокой чувствительности дефицитарных когнитивных функций к целенаправленной тренировке даже на фоне возрастных изменений [17].

Наиболее выраженная положительная динамика была выявлена в следующих когнитивных доменах: зрительно-пространственные и конструктивные навыки, концентрация внимания и управляющие функции, речевые процессы, мнестические функции (немедленное и отсроченное воспроизведение), а также ориентировка во времени и пространстве. Однако подчеркнём: абстрактное мышление в то же время продемонстрировало наименьшее увеличение, особенно в старшей возрастной группе, что может быть связано с большей устойчивостью этих функций к тренировочному воздействию и их более сложной нейронной организацией [3; 13].

Результаты, полученные по шкале MoCA, показали сокращение времени выполнения заданий и повышение когнитивной гибкости, что свидетельствует об улучшении нейродинамических характеристик познавательной деятельности. Данные MMSE продемонстрировали рост показателей памяти, восприятия и ориентировки [11; 18].. Как видим, целенаправленные когнитивные тренировки способствуют улучшению скорости обработки информации, устойчивости внимания и регуляторных функций.

Заметим: до начала применения программы по всем когнитивным показателям группа 55–60 лет характеризовалась более низкими значениями по сравнению с группой 40–54 лет, что соответствует известным данным о возрастной динамике когнитивных функций [1]. Однако после прохождения программы различия между группами сократились, и это свидетельствует о компенсаторном эффекте вмешательства и частичном восстановлении когнитивных функций.

Дополнительный анализ с использованием экспресс-методики оценки когнитивных функций выявил значимое улучшение динамического праксиса, кратковременной зрительной памяти и произвольной регуляции деятельности, включая вербальное мышление [13]. Также было зафиксировано статистически значимое улучшение нейродинамических показателей, проявляющихся в снижении утомляемости и повышении продуктивности выполнения заданий.

Обзор обобщений.

Таблица1.

Динамика когнитивных показателей (приведены только статистически значимые различия, критерий Пирсона).

Показатель	40–54 лет (Δ)	55–60 лет (Δ)
память	+1,2	+1,8
внимание	+0,8	+1,5
зрительно-пространственные функции	+1,5	+2,0
речь	+0,3	+0,5
ориентация	+2,5	+6,0

По всем представленным показателям наблюдается положительная динамика (рост значений) в обеих возрастных группах, что, собственно говоря, является улучшением когнитивных функций после проведённого вмешательства (тренировки, программы реабилитации, курса терапии и т. д.).

Сравнение динамики по возрастным группам, описанной в табл. 1, показывает, что во всех случаях прирост показателей в группе 55–60 лет превышает таковой в группе 40–54 лет. Это свидетельствует о большей чувствительности когнитивных функций в предпенсионном возрасте к коррекционным воздействиям; наличии большего «резерва» для улучшения у людей старшего возраста (если исходные показатели были ниже); специфическом эффекте программы, наиболее выраженном в период возрастных изменений когнитивных функций.

Анализ по отдельным показателям: ориентация (+2,5 у первой группы респондентов (45-55 лет), +6,0 у второй группы респондентов (56-65 лет) демонстрирует максимальный прирост в обеих группах, при этом в старшей группе прирост в 2,4 раза выше, чем в младшей. Улучшение может отражать повышение осведомлённости о времени, месте, собственной личности, за счёт упражнений на структурирование информации, организацию режима дня, тренировки памяти. Все показатели демонстрируют рост по сравнению с результатами входной диагностики, при этом эти результаты были значительно лучше у возрастной группы 45-55 лет, чем у группы 56-65 лет, где возрастные изменения работы мозга уже сказывались на результатах. После прохождения программы у старшей группы изменения более значительны, т.е. восстановление функций до уровня более молодого возраста значительнее.

Зрительно-пространственные функции (+1,5 у группы 45-56, +2,0 у старшего возраста) тоже демонстрирует заметный рост, особенно в старшей группе (+33 % относительно первой группы), что указывает на улучшение способности ориентироваться в пространстве, конструировать образы, выполнять графические задания (например, копирование фигур, сборку пазлов), учитывая исходные данные при входной диагностике.

Память (+1,2 у респондентов 45-55, +1,8 у группы 56-65 лет) по сравнению с результатами входной диагностики наблюдается увеличение в группе 56-65 лет на 50 % по сравнению с результатами входной диагностики. Улучшилась способность запоминать и воспроизводить информацию (имена, списки, события), благодаря специальным мнемоническим упражнениям.

Внимание (+0,8 у респондентов группы более молодого возраста, +1,5 у группы старшего возраста), рост в старшей возрастной группе почти в 2 раза выше по сравнению с результатами входного

тестирования. Наблюдается повышение концентрации, устойчивости внимания, скорости переключения между задачами.

Речь (+0,3 у младших, +0,5 у старших) по данной шкале наблюдается наименьший рост среди всех показателей, но всё же статистически значимый, в частности имеет место небольшое улучшение в подборе слов, построении фраз, понимании сложных инструкций.

Апробация программы оказала положительное влияние на когнитивные функции в обеих возрастных группах людей среднего возраста. Наибольший эффект отмечен в группе 56–60 лет, особенно по показателям: ориентации (+6,0); зрительно-пространственных функций (+2,0); памяти (+1,8), где данные показывают рост по сравнению с показателями этой же возрастной группы на входном тестировании.

Наименее выраженный, но значимый рост в показателях речи в обеих группах. Наиболее чувствительным к воздействию показателем оказалась группа 56-65 лет, где стартовые показатели были ниже. Однако после участия в программе у наблюдаемых этой группы показатели увеличились в 2,4 раза, по сравнению с результатами группы участников 45-55 лет (хотя у последних входные показатели были изначально выше).

Представленные результаты эмпирического исследования когнитивных функций респондентов среднего возраста позволили нам сделать следующие выводы.

Для более тонкой оценки состояния когнитивных функций были проанализированы данные шкалы ADAS-Cog, в том числе отдельные субтесты. По результатам анализа получено статистически значимое улучшение когнитивных функций в целом, а также по большинству субтестов данной шкалы (табл. 1). Так, достоверное улучшение было отмечено в процессах ориентировки, повторении и узнавании слов, нахождении цифр, запоминании и выполнении инструкций, идеаторного праксиса. При оценке речевых функций (понимание обращенной речи, подбор слов в спонтанной речи), а также конструктивного праксиса и способности к концентрации динамики не выявлено.

Если обратиться к показателям испытуемых групп в возрасте 45-55 лет и 56-65 лет по методике NPI, то фон психоэмоционального состояния участников обеих групп улучшился.

Таблица 2.

Динамика психической симптоматики по методике NPI (для групп 45-55 лет и возраста 56-65 лет)

Симптом	До использования программы	После использования программы	p (уровень значимости различий с исходными показателями)
56-65 лет:			
бредовые идеи	5,2	3,1	0,001
апатия	6,8	4,6	0,001
общий балл	29,5	25,2	0,001
45-55 лет:			
тревога	4,6	2,9	0,001
нарушение аппетита и пищевого поведения	5,4	3,1	0,001
общий балл	26,7	21,2	0,001

Данные таблицы отражают:

- значимым дополнительным результатом стало улучшение психоэмоционального состояния участников, что подтверждается снижением общего балла по шкале NPI (Neuropsychiatric Inventory), то есть с 29,5 до 25,2; p=0,001 для возрастной группы 56-65 лет и с 26,7 до 21,2 для возрастной группы 45-55);

- уменьшение выраженности апатии и бредовых проявлений для возрастной группы 56-65 лет (p=0,001), а также уменьшением выраженности тревоги и нарушения пищевого поведения для группы 45-55 лет, что согласуется с данными о взаимосвязи когнитивного и эмоционального функционирования [6].

Надо заметить: дополнительно оценивалась вовлечённость участников в программу с использованием шкалы Ликерта. Результаты показали высокий уровень интереса, положительного эмоционального отклика и коммуникативной активности в обеих группах, что является важным фактором эффективности когнитивных интервенций [15].

На основе позитивных результатов проведенного исследования можно констатировать, что разработанная программа нейропсихологической профилактики обладает значительным потенциалом не только в стабилизации, но и в частичном реверсировании когнитивных нарушений.

Особая результативность проявляется в тех доменах, где изначально наблюдался дефицит. Данные обстоятельства позволяют обоснованно рекомендовать данную программу в качестве инструмента для превенции возраст-ассоциированных когнитивных дисфункций и поддержания уровня функциональной независимости у лиц среднего и пожилого возраста.

В целом, можно заключить, что программа нейропсихологической профилактики подтвердила свою эффективность в улучшении разнообразных когнитивных функций у респондентов в возрасте 40–60 лет. При этом более выраженный положительный эффект был зафиксирован в старшей возрастной подгруппе, особенно по тем показателям, которые изначально характеризовались низкими значениями. Полученные эмпирические данные

служат весомым аргументом в пользу когнитивных тренировок как средства сохранения и развития когнитивной пластичности на различных этапах онтогенеза.

Полученные данные подтверждают эффективность разработанной программы нейропсихологической профилактики, которая обеспечивает не только поддержание, но и частичное восстановление когнитивных функций, особенно в областях с исходным дефицитом. И самое главное: полученные результаты не противоречат современным исследованиям, указывающим на высокую эффективность комплексных когнитивно-поведенческих интервенций в среднем возрасте [16; 18].

Позитивные результаты знаменуют необходимость дальнейшего развития интегративных профилактических программ, ориентированных на ранние этапы возрастных изменений. И более того, подчеркивают значимость междисциплинарного подхода, объединяющего нейропсихологию, когнитивную психологию и поведенческие науки [6; 16; 27].

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует, что имплементация комплексной программы оказывает статистически значимое позитивное воздействие на когнитивные функции, в частности, на показатели внимания, памяти и исполнительных функций. Последние представляют собой совокупность высших когнитивных процессов, отвечающих за целенаправленное регулирование поведенческой активности, которая поддерживается актуальными целями, стратегическим планированием, ингибированием импульсивных реакций и адаптацию к динамически изменяющимся умсловиям внешней среды. В отличие от базовых когнитивных доменов, таких как память, восприятие или речевая деятельность, исполнительные функции играют роль метарегуляторов, определяющих эффективность использования указанных способностей и обеспечивающих координированное функционирование мышления и поведения в условиях, когда автоматизированные, привычные поведенческие паттерны оказываются неадекватными. Наиболее выраженные изменения наблюдались по шкале MoCA, отражающей чувствительность к лёгким когнитивным нарушениям. Показатели MMSE демонстрировали стабильность общего когнитивного статуса, а Mini-Cog позволил выявить изменения на уровне памяти и исполнительных функций. Значительный эффект достигался при сочетании когнитивных тренировок, физической активности и метакогнитивных техник. Участники программы отмечали улучшение концентрации внимания, снижение забывчивости и повышение способности к обучению.

Комплексный подход к профилактике когнитивного снижения в среднем возрасте является наиболее эффективным и научно обоснованным.

В возрастной группе 40–60 лет когнитивные функции демонстрируют значительную пластичность и потенциал к дальнейшему развитию, что создает благоприятные условия для эффективной реализации профилактических интервенций. Учитывая сохраненную способность к когнитивным изменениям в данном возрастном диапазоне, представляется целесообразным внедрение профилактических программ, направленных на поддержание интеллектуального потенциала и продление периода активной жизнедеятельности. Интеграция когнитивных, поведенческих и физиологических стратегий в рамках профилактики для лиц среднего возраста способствует не только замедлению процессов возрастного снижения, но и повышению уровня когнитивной адаптивности.

Использование стандартизированных диагностических методик обеспечивает надёжную оценку эффективности вмешательства.

Список литературы

1. Бабиянц А. Я., Хананашвили Я. А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2018. – №. 3. – С. 46-54.

2. Ball K. Cognitive training interventions // J Gerontol. 2002.

3. Basak C., Qin S., O'Connell M. A. Differential effects of cognitive training modules in healthy aging and mild cognitive impairment: A comprehensive meta-analysis of randomized controlled trials // Psychology and Aging. 2020. Vol. 35. № 2. P. 220–249. DOI: 10.1037/pag0000442.

4. Bherer L. Cognitive training review // Psychol Aging. 2013.

5. Васильева Е. В. Концепция активного долголетия в системе обеспечения экономической безопасности // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Том 11. № 9. С. 2101–2120. DOI: 10.18334/epp.11.9.113431.

6. Деменция: Информационный бюллетень. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2020. URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ dementia (дата обращения: 27. 01.2026).

7. Доклад о состоянии мер общественного здравоохранения по борьбе с деменцией в мире: резюме [Global status report on the public health response to dementia: executive summary]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2021. URL: https://publichealthupdate.com/global-status-report-on-the-public-healthresponse-to-dementia/ (дата обращения: 27.01.2026).

8. Изменения к лучшему 1: когнитивная стимулирующая терапия (КСТ). Программа групповых занятий с доказанной эффективностью для пациентов с деменцией. Руководство для ведущих групп / Под. ред. Э. Спектор, Б. Вудс, Ш. Р. Стоунер, М. Оррелл; науч. ред. и пер. на рус. яз. И. Ф. Рощина, А.А. Шведовская, М.В. Калантарова, А.И. Хромов. 2-е изд. М: ФГБОУ ВО МГППУ, 2022. – 66 с. // Консультативная психология и психотерапия. 2020. Том 28. № 3. С. 122–141. DOI: 10.17759/cpp.2020280308.

9. Калантарова М.В., Завалий Л.Б., Борисоник Е.В. и др. Цифровые технологии в когнитивной реабилитации пациентов с очаговыми поражениями головного мозга // Консультативная психология и

психотерапия. 2020. Том 28. № 3. С. 122–141. DOI: 10.17759/cpp.2020280308.

10. Концепция политики активного долголетия: научно-методологический доклад к XXI апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / Под ред. Л. Н. Овчаровой, М. А. Морозовой, О. В. Синявской. М.: изд-во Высшей школы экономики, 2020. – 40 с.

11. Корсакова Н. К., Рощина И. Ф. Концепция А. Р. Лурии о трех функциональных блоках мозга и нейропсихологический синдром нормального старения // Методологические и прикладные проблемы медицинской (клинической) психологии: коллективная монография / Под ред. Н. В. Зверевой, И. Ф. Рощиной. – М.: Сам Полиграфист, 2018. С. 203–211. URL: http://www.medpsy.ru/library/library238.pdf (дата обращения: 27.01.2026).

12. Корсакова Н. К., Рощина И. Ф. Типология нормального старения и стратегии коррекции процессов памяти // Избранные вопросы нейрореабилитации: материалы IX международного конгресса «Нейрореабилитация – 2017», Москва, 1–2 июня 2017 г. / Под ред. Г. Е. Ивановой, Л. В. Стаховской, Ю. П. Зинченко. М., 2017. С. 102–105.

13. Cabeza R. Cognitive neuroscience of aging. Oxford, 2017.

14. Cacciante L., et al. Tele-reorientation technology for cognitive rehabilitation: systematic review and meta-analysis. // Neurological Sciences. 2022. – 43(5) PP.2931–2941. –Fratiglioni L. Lifestyle factors // Lancet Neurol. 2020.

15. Harada C. N. Normal cognitive aging // Clinics in Geriatric Medicine. 2013. Vol. 29.

16. Gao Y., et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation combined with cognitive training for cognitive function and activities of daily living in patients with post-stroke cognitive impairment: systematic review and meta-analysis. 2023. // Science Direct. – Электронный ресурс: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568163723000788. ScienceDirect.

17. González-Erena P. V., Fernández-Guinea S., Kourtesis P. Cognitive Assessment and Training in Extended Reality: Multimodal Systems, Clinical Utility, and Current Challenges. - 2025. – arXiv 2501.08237.

18. Gunawan H., et al. Virtual reality intervention for improving cognitive function in post-stroke patients: systematic review. – 2024. – Электронный ресурс: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666459324000374.

19. Knopman D. S., et al. Evaluation of Interventions for Cognitive Symptoms in Long COVID. JAMA Neurology. 2024–2025. [Многоцентровое RCT]. – Электронный ресурс: https://jamanetwork.com/journals/jamaneurology/fullarticle/2841155.

20. Law C. K., Lam F. M., Chung R. C. et al. Physical exercise attenuates cognitive decline and reduces behavioural problems in people with mild cognitive impairment and dementia: a systematic review // Journal of Physiotherapy. 2020. Vol. 66. № 1. P. 9–18. DOI: 10.1016/j.jphys.2019.11.014.

21. Livingston G., Huntley J., Sommerlad A. et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission // Lancet. 2020. Vol. 396. № 10248. P. 413 – 446. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6.

22. Maggio M. G., et al. The role of virtual reality-based cognitive training in rehabilitation: randomized controlled trials and systematic data. – 2025. // Scientific Reports / Nature. – Электронный ресурс: https://www.nature.com/articles/s41598-025-08173-1.

23. Проект «Если быть точным» представил рейтинг регионов по уровню жизни людей старшего возраста на основе статистики Росстата и информации Российской базы данных по рождаемости и смертности за 2023 год. – М., 2025. – URL: https://tochno.st/materials/starost-v-regionakh-rossii.pdf (дата обращения: 27. 01.2026).

24. Reuter-Lorenz P. Neurocognitive aging // Psychol Bull. 2014.

25. Рощина И. Ф., Сюняков Т. С., Осипова Н. Г. и др. Оценка эффективности нейрокогнитивной реабилитации пациентов с мягким когнитивным снижением в условиях ограничений во время пандемии COVID–19 // Журнал Психиатрия, 2022, № 4.

26. Рощина И. Ф., Калантарова М. В., Шведовская А. А., Хромов А. И. Профилактика когнитивного снижения в позднем онтогенезе: программы «Клиника памяти» и «Когнитивная стимулирующая терапия» Клиническая и специальная психология 2022. – Том 11. № 3. С. 44–70.

27. Salthouse T. A. Consequences of age-related cognitive declines // Annual Review of Psychology. 2012. Vol. 63. P. 201–226.

28. Stern Y. Cognitive reserve in ageing // The Lancet Neurology. 2012. Vol. 11. P. 1006–1012.

29. Torous J. Digital mental health // NPJ Digital Medicine. 2021.

SOCIAL SCIENCES

LOCAL CULTURAL CODES AND GLOBAL INFLUENCES ON THE SOCIAL EXPERIENCE OF AZERBAIJANI WOMEN

Garayeva S.
Researcher,
Department of Anthropology
Institute of Archaeology and Anthropology
Azerbaijan National Academy of Sciences
https://orcid.org/0000-0003-1982-1493
DOI: 10.5281/zenodo.20456476

Abstract

This article examines the interaction between local cultural codes and global influences in shaping the social experience of Azerbaijani women. Drawing on a mixed-methods approach that combines qualitative interviews with secondary data analysis, the study explores how traditional norms coexist and interact with global gender discourses in post-Soviet Azerbaijan. The findings reveal the emergence of hybrid identities, in which women navigate between culturally embedded expectations and expanding modern opportunities. Particular attention is given to cultural codes as mediating structures that both constrain and enable agency. The study contributes to gender studies and post-Soviet sociology by emphasizing the active role of women in negotiating and transforming cultural norms.

Keywords: gender, Azerbaijan, cultural codes, globalization, identity, post-Soviet societies, women.

Introduction

The intensification of globalization has significantly reshaped discussions on gender roles, identity construction, and social transformation. In transitional societies such as Azerbaijan, these processes generate a complex interplay between continuity and change, where traditional norms coexist with emerging global values.

Azerbaijan represents a distinctive socio-cultural environment in which elements of Eastern traditions intersect with Western-oriented modernization. Within this context, women occupy a central position: while remaining embedded in family structures, they are increasingly active in education, employment, and public life. Their experiences therefore provide an important lens for understanding broader societal transformations.

Cultural codes function as implicit regulatory systems that structure everyday behavior and define socially acceptable roles. As Clifford Geertz argues, culture operates as a system of symbols and meanings through which individuals interpret reality (Geertz, 1973: 89). In gendered contexts, these symbolic systems play a crucial role in shaping expectations toward men and women.

Research on post-Soviet societies demonstrates that the collapse of the Soviet Union resulted in both expanded opportunities for women and a reassertion of traditional gender norms (Ashwin, 2000: 45–52). In Azerbaijan, notions of honor and family reputation regained importance in regulating female behavior (Najafizadeh, 2013: 112–115). At the same time, globalization introduces transnational discourses of gender equality and individualism, which are not simply adopted but reinterpreted within local contexts, leading to the formation of hybrid identities (Appadurai, 1996: 32–44).

The cultural codes shaping the social experience of Azerbaijani women are not abstract normative systems; rather, they are deeply embedded in everyday practices, interpersonal relations, and micro-level decision-making. Their specificity lies in the fact that they operate simultaneously as moral expectations, social monitoring mechanisms, and internalized psychological frameworks. Unlike formal rules, these codes are rarely articulated explicitly, yet they structure behavior in highly consistent ways. One of the key characteristics of cultural codes in the Azerbaijani context is their relational nature. Identity is not constructed primarily in individual terms but through relationships—within the family, kinship networks, and broader community. As a result, women's actions are rarely evaluated as isolated choices. Instead, they are interpreted as reflections of family honor, social status, and collective reputation. This relational logic is particularly visible in the functioning of the code of namus (honor), where individual autonomy is subordinated to collective moral standing. Even seemingly private decisions—such as clothing choices, communication styles, or mobility in public space—can acquire social meaning through their perceived impact on family reputation.

Another important feature is the anticipatory nature of social control. Many cultural codes operate not through direct prohibition but through the anticipation of judgment. The code of ictimai baxış (public gaze) illustrates this mechanism particularly clearly. Women often regulate their behavior not because of immediate external intervention, but because of the imagined presence of social evaluation. This produces a form of internalized surveillance, where individuals become responsible for enforcing social norms upon themselves. Over time, this leads to the normalization of self-restriction, especially in contexts involving visibility, mobility, and public expression.

Methodology

This study employs a mixed-methods research design integrating qualitative and quantitative approaches. The primary empirical material consists of 20 semi-structured interviews conducted with Azerbaijani women aged between 20 and 50. Participants were selected from both urban (primarily Baku) and semi-urban areas to capture variation in social experience. The sample included 60% employed women and 40% students or homemakers.

In addition, secondary data from international organizations, including UNDP reports and World Bank statistics, were used to contextualize the findings. The data were analyzed using thematic analysis, focusing on recurring patterns related to identity construction, family roles, and perceptions of globalization. This approach allowed for identifying both dominant narratives and internal contradictions.

A limitation of the study is the relatively small sample size, which does not allow for full generalization. However, the qualitative depth provides valuable insight into lived experiences and meaning-making processes.

Historically, women's roles in Azerbaijan were primarily defined within the domestic sphere and regulated by customary norms, religious values, and community expectations. Gender roles were clearly delineated, with a strong emphasis on family responsibility and moral conduct.

During the Soviet period, official policies promoted gender equality, particularly through access to education and labor participation. However, these changes did not fully eliminate traditional norms, which persisted within informal social structures (Ashwin, 2000: 67).

Following independence, Azerbaijan experienced significant social transformation. This period was marked by both a revival of traditional values and increased exposure to global cultural influences. As a result, family remains the central institution of social organization, and women are still expected to prioritize domestic responsibilities (Heyat, 2008: 78–81). At the same time, globalization has expanded access to education, employment, and new forms of self-expression.

The findings indicate that Azerbaijani women experience a persistent "double burden," combining professional responsibilities with unpaid domestic labor. Participation in the labor market does not reduce expectations within the household; instead, responsibilities accumulate.

Beyond workload, a critical issue is the structure of time. Women's time is often fragmented, interrupted, and organized around the needs of others. Daily routines are shaped by caregiving responsibilities, which limits access to uninterrupted time necessary for personal development and professional growth.

This dynamic reflects what scholars describe as temporal inequality. Women are more likely to operate within short, interrupted intervals, while men have greater access to continuous blocks of time.

An important theme emerging from the data is the expectation of emotional regulation, often framed as "female wisdom." Women are expected to maintain harmony within the family by managing emotions, avoiding conflict, and communicating strategically.

This involves suppressing immediate reactions, choosing silence when necessary, and expressing disagreement in indirect ways. Such practices are not merely personal choices but socially reinforced expectations.

Thus, "wisdom" functions as a mechanism of informal social regulation. While it contributes to family stability, it also places an additional emotional burden on women and reinforces gendered divisions of responsibility.

Cultural codes provide a key framework for understanding how gender norms are maintained and reproduced.

The code of namus (honor) regulates behavior through moral expectations linked to family reputation. Women's actions are evaluated not individually but collectively, increasing social control (Najafizadeh, 2013: 115).

The code of ailə (family priority) emphasizes the primacy of collective interests over individual aspirations. Marriage and motherhood are framed as central life goals, contributing to the persistence of dual roles (Heyat, 2008: 81).

The code of hörmət (respect and hierarchy) structures authority relations and reinforces generational and gender hierarchies (Motika, 2001: 29).

The code of qadınlıq (normative femininity) defines acceptable behavior, including modesty, care, and emotional restraint, though these norms are increasingly being reinterpreted.

The code of səbir (patience) frames endurance as a moral virtue necessary for maintaining stability.

Finally, ictimai baxış (public opinion) acts as a powerful mechanism of social control, influencing behavior through anticipated judgment (Heyat, 2008: 84).

The limitation of women's opportunities is not due to a lack of ability but to restricted access to uninterrupted time.

As Brigid Schulte argues in Overwhelmed: Work, Love, and Play When No One Has the Time (2014: 45–68), women's time is historically fragmented and subordinated to others' needs. This pattern extends to creative work, where women are often forced to work in short, interrupted intervals.

Similarly, Melinda French Gates highlights that even in contemporary contexts women's time remains vulnerable to constant interruption in The Moment of Lift: How Empowering Women Changes the World (2019: 89–91). This demonstrates that time inequality is structural rather than individual.

The findings show that Azerbaijani women develop hybrid identities, combining traditional values with modern aspirations. Globalization expands opportunities but does not eliminate local norms.

Urban and younger women demonstrate greater flexibility, while traditional expectations remain influential across all groups. This supports the idea that global influences are locally reinterpreted rather than simply adopted (Appadurai, 1996: 44). An important dimension of these cultural codes is their intergenerational transmission. They are primarily reproduced within the family through everyday interaction rather than formal instruction. Mothers, grandmothers, and female relatives play a central role in socializing younger

generations into these normative frameworks. This transmission is often subtle, embedded in advice, behavioral correction, and lived example. As a result, cultural codes are not perceived as external impositions but as naturalized elements of social life.

However, it is crucial to emphasize that these codes are not entirely rigid. The empirical material shows that women actively engage in reinterpretation and selective adaptation. Younger and urban women, in particular, tend to negotiate these norms in flexible ways, combining adherence to family expectations with personal aspirations. This leads to the emergence of hybrid strategies, where compliance and autonomy coexist. For example, professional ambition may be pursued alongside strong adherence to family roles, without explicit rejection of either sphere.

Globalization intensifies this process of reinterpretation by introducing alternative models of femininity and life trajectories. Through education, media, and digital platforms, women are exposed to diverse narratives that expand the range of perceived possibilities. However, these global influences do not replace local cultural codes; instead, they are filtered through them. As a result, transformation occurs not through rupture but through gradual adjustment and hybridization.

In sum, the specificity of cultural codes in Azerbaijani women's lives lies in their multidimensional function: they simultaneously organize social relations, regulate behavior, structure time, and shape subjectivity. They operate both externally, through social expectations, and internally, through self-regulation. While these codes constrain individual autonomy in certain respects, they also provide a framework within which women actively construct strategies of adaptation, negotiation, and partial transformation.

Conclusion

This study demonstrates that the social experience of Azerbaijani women is shaped by the interaction between local cultural codes and global influences. Traditional norms remain significant, but they are not static. Women actively reinterpret and negotiate these norms in response to changing conditions. The emergence of hybrid identities reflects adaptive strategies that allow women to balance competing expectations. At the same time, persistent inequalities—particularly in the distribution of time and emotional labor—highlight the need for broader structural change. Future research should focus on larger samples and longitudinal approaches to better capture the evolving dynamics of gender in Azerbaijan and other post-Soviet contexts.

References

1. Appadurai, A. (1996). Modernity at Large. University of Minnesota Press.
2. Ashwin, S. (2000). Gender, State and Society in Soviet and Post-Soviet Russia. Routledge.
3. Geertz, C. (1973). The Interpretation of Cultures. Basic Books.
4. Heyat, F. (2008). Globalization and changing gender norms in Azerbaijan. European Journal of Women's Studies, 15(3).
5. Najafizadeh, M. (2013). Gender and ideology in post-Soviet Azerbaijan. Journal of Third World Studies, 30(2).
6. Motika, R. (2001). Gender relations in Azerbaijan.
7. Schulte, B. (2014). Overwhelmed. Farrar, Straus and Giroux.
8. Gates, M. (2019). The Moment of Lift. Flatiron Books.
9. UNDP. (2023). Gender Equality Report.
10. World Bank. (2022). Women, Business and the Law.

TECHNICAL SCIENCES

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКОВ УЯЗВИМОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Тогжанова К.О.
PhD, и.о. ассоц. профессор
Сейдахметов А.О.
Магистрант, Алматинский Технологический Университет

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR SOFTWARE VULNERABILITY RISK ASSESSMENT

Togzhanova K.
PhD, Associate Professor
Seidakhmetov A.
Master of science, Almaty Technological University
DOI: 10.5281/zenodo.20456488

Аннотация

В статье проведён анализ существующих методов оценки рисков уязвимостей программного обеспечения, в первую очередь системы CVSS (Common Vulnerability Scoring System)[1]. На основе выборки из 5 000 записей CVE/NVD показано, что 57,3 % зарегистрированных уязвимостей относятся к категориям HIGH и CRITICAL, однако статический характер CVSS-оценки не учитывает контекст эксплуатации, наличие публичных эксплойтов и реальную применяемость уязвимого компонента. Выявлены ключевые ограничения: статичность оценок, игнорирование runtime-контекста, проблема интерпретации одинаковых оценок, дисбаланс классов. Обоснована необходимость перехода к адаптивным моделям оценки на основе машинного обучения.

Abstract

This article presents an analysis of existing methods for assessing software vulnerability risks, with a primary focus on the CVSS (Common Vulnerability Scoring System). Based on a dataset of 5,000 CVE/NVD records, it is shown that 57.3% of registered vulnerabilities fall into the HIGH and CRITICAL categories. However, the static nature of CVSS scoring does not account for exploitation context, the presence of public exploits, or the actual deployability of the vulnerable component. The analysis identifies several key limitations, including the static nature of scores, the lack of runtime context consideration, the ambiguity of identical scores across different vulnerabilities, and class imbalance in the dataset. These issues justify the need for a transition toward adaptive machine learning-based risk assessment models.

Ключевые слова: CVSS, CVE, NVD, оценка уязвимостей, риски информационной безопасности, машинное обучение, приоритизация патчей.

Keywords: CVSS, CVE, NVD, vulnerability assessment, information security risks, machine learning, patch prioritization.

Введение

По данным National Vulnerability Database (NVD), ежегодное количество регистрируемых уязвимостей неуклонно растёт: в 2019 году было зафиксировано около 17 000 записей CVE, в 2023 году свыше 28 000. Совокупный массив базы превышает 200 000 уязвимостей. В этих условиях организации не в состоянии устранять все обнаруженные дефекты одновременно, что делает задачу критически важной[6].

Центральным инструментом оценки остаётся CVSS, это открытый стандарт, принятый большинством вендоров, регуляторов и CERT-служб. Несмотря на широкое распространение, CVSS обладает существенными ограничениями, которые в ряде случаев приводят к некорректным управленческим решениям: ресурсы тратятся на уязвимости с высоким баллом, но низкой реальной угрозой, тогда как эксплуатируемые в дикой природе (in-the-wild) дефекты с умеренным баллом остаются без внимания.

Цель настоящей статьи, это систематизировать существующие подходы к оценке рисков уязвимостей, провести количественный анализ данных CVE/NVD и на его основе выявить конкретные ограничения действующих методов.

Существующие методы оценки рисков

CVSS (Common Vulnerability Scoring System) - разработан организацией FIRST (Forum of Incident Response and Security Teams) и в настоящее время актуален в версии 3.1, при этом версия 4.0 находится в процессе внедрения. Оценка формируется из трёх групп метрик.

Базовые метрики (Base Score) отражают неизменные характеристики уязвимости: вектор атаки (AV), сложность (AC), требуемые привилегии (PR), взаимодействие с пользователем (UI), а также воздействие на конфиденциальность, целостность и доступность (C/I/A). Базовый балл остаётся постоянным и не зависит от среды развёртывания.

Временны́е метрики (Temporal Score) учитывают наличие эксплойта, состояние исправления и достоверность отчёта.

Экологические метрики (Environmental Score) позволяют адаптировать оценку к конкретной инфраструктуре, задавая значимость затронутого актива. На практике подавляющее большинство организаций оперирует исключительно Base Score, поскольку сбор данных для Temporal и Environmental метрик требует значительных ресурсов. По данным NVD, более 95 % записей содержат только базовую оценку[4].

Альтернативные подходы

Качественная оценка рисков (Qualitative Risk Assessment) широко применяется в контексте ISO/IEC и NIST. Она оперирует категориями «Низкий / Средний / Высокий / Критический», однако субъективна и плохо масштабируется при большом числе уязвимостей.

Вендор-специфические оценки (Vendor Advisory Scoring) применяются производителями ПО: Microsoft MSRC, Oracle CPU, Red Hat Security Advisories и нередко расходятся с оценками NVD ввиду различий в контексте применения продукта. Расхождения в один-два балла между NVD и вендорскими оценками фиксируются в 20–30 % случаев[2].

Оценки программ bug bounty (HackerOne, Bugcrowd) формируются с учётом реальной эксплуатируемости и ценности целевых активов. Они ближе к практическому риску, однако охватывают лишь незначительную долю от общего объёма CVE и не стандартизированы.

Системы на основе машинного обучения (CVSS Prediction, NVD-labelling models) используют текст описания уязвимости для автоматического предсказания базовых метрик. Работы [5] демонстрируют точность предсказания severity от 80 % до 91 %, однако данные модели воспроизводят статическую природу CVSS, а не устраняют её ограничения.

Анализ данных уязвимостей

Источником данных послужила выборка объёмом 5 000 записей CVE, сформированная на основе открытых данных NVD (National Vulnerability Database) за период 2019–2023 гг.

Таблица 1.

Распределение уязвимостей по степени критичности (CVSS v3)

Степень критичности	**Кол-во CVE**	**Доля (%)**	**Ср. CVSS**	**С эксплойтом (%)**	**Без патча (%)**
<3.9	227	4,5	2,10	29,5	19,8
<6.9	1 908	38,2	5,45	31,3	24,9
<8.9	1 885	37,7	7,95	30,2	25,6
<10.0	980	19,6	9,55	32,3	24,0
Итого	**5 000**	**100**	**7,03**	**30,9**	**24,7**

Средний CVSS Score по выборке составил 7,03 (медиана 7,3), что свидетельствует о смещении базы в сторону высокоопасных уязвимостей. Доля записей с оценкой ≥7,0 (HIGH + CRITICAL) составила 57,3 %. Уязвимости категории LOW представлены крайне незначительно (4,5 %), что создаёт выраженный дисбаланс классов, соотношение LOW к CRITICAL равно приблизительно 1 к 4[7].

Примечательно, что доля уязвимостей с публичным эксплойтом практически не зависит от уровня CVSS: для LOW она составила 29,5 %, для CRITICAL 32,3 %. Это опровергает интуитивное предположение о прямой корреляции между Base Score и эксплуатируемостью в реальной среде.

Рисунок 1. Распределение уязвимостей по степени критичности

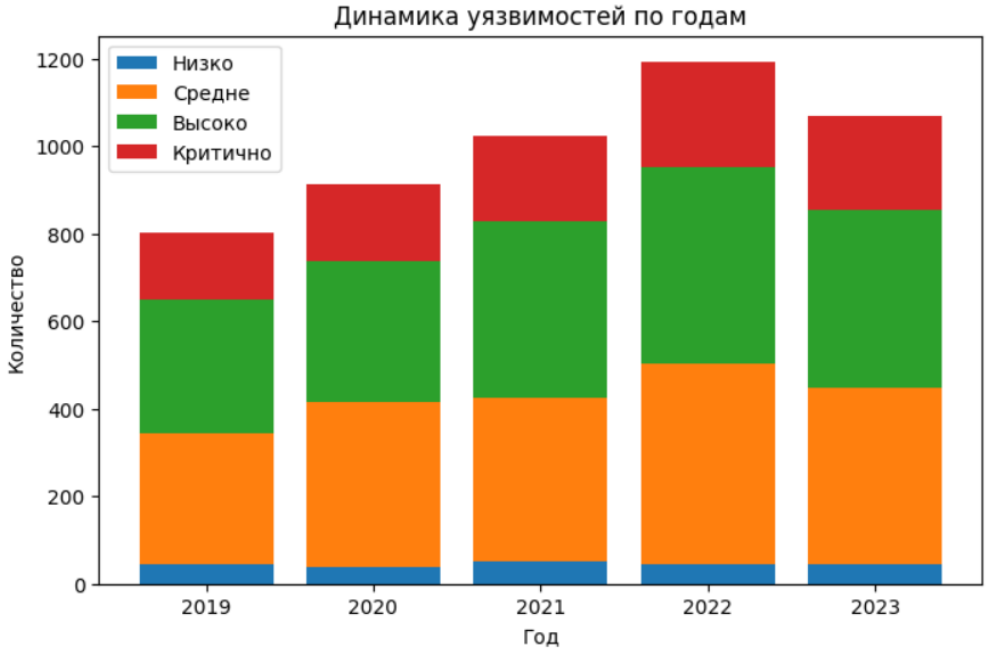

Рисунок 2. Распределение уязвимостей по годам(2019-2023)

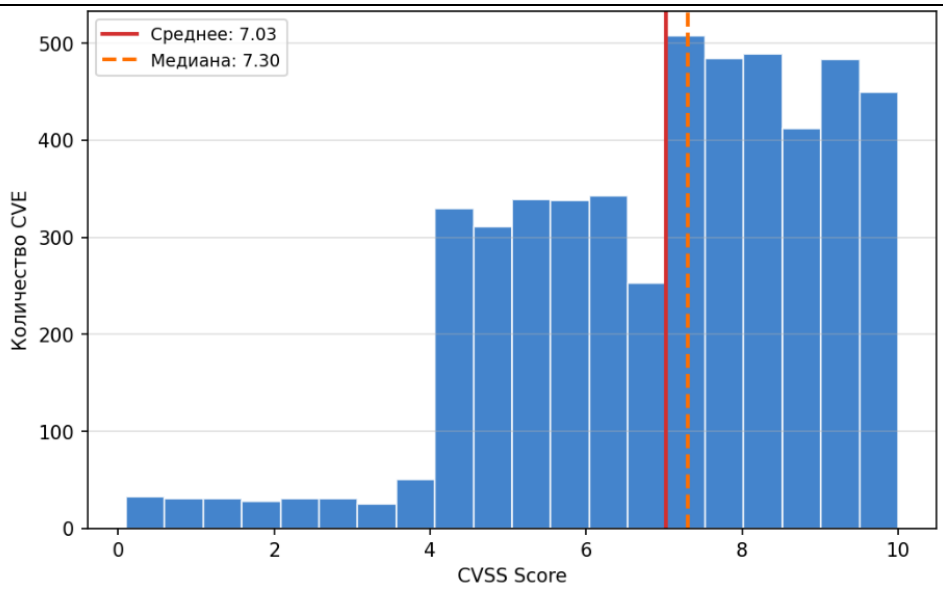

Рисунок 3. Распределение уязвимостей по степени критичности

Анализ динамики показал стабильный рост абсолютного числа HIGH и CRITICAL уязвимостей: с 479 в 2019 г. до 672 в 2023 г. (рост +40 %). Доля CRITICAL в общем потоке при этом незначительно варьируется (от 20,3 % в 2019 г. до 21,6 % в 2022 г.), что указывает на структурное увеличение числа опасных уязвимостей.

Выявленные недостатки существующих методов

Base Score CVSS фиксируется в момент публикации CVE и не пересматривается при изменении ландшафта угроз. Появление публичного PoC-эксплойта, включение уязвимости в каталог CISA KEV или рост масштаба атак не отражаются в базовом балле. Temporal Score теоретически решает эту проблему, однако NVD и большинство систем управления уязвимостями не обновляют его в реальном времени.

CVSS присваивает уязвимости универсальный балл, не учитывая: доступность уязвимого компонента из интернета, наличие компенсирующих контролей, ценность актива для конкретной организации, а также частоту реального использования компонента в производственной среде.

Следствием является ситуация, при которой одна и та же CVE получает одинаковый балл в инфраструктуре крупного банка и в изолированной тестовой среде небольшой компании, хотя реальные риски несопоставимы.

CVSS применяет единую формулу для уязвимостей в операционных системах, веб-приложениях, встроенном ПО и облачных сервисах. Различная архитектура атак, различные модели угроз и различные цепочки эксплуатации при этом не учитываются. В результате балл для уязвимости в изолированном PLC промышленной системы управления и балл для аналогичной уязвимости в публично доступном API могут совпадать, несмотря на принципиально разную критичность.

Заключение

CVSS остаётся основным стандартом оценки уязвимостей, но на практике обычно используется только его базовый балл. При этом дополнительные части модели (временные и контекстные параметры) почти не применяются. Из-за этого сложная система фактически превращается в одно число, которое не учитывает реальные условия использования уязвимости.

Анализ данных NVD показывает, что уровень CVSS плохо связан с реальной опасностью: уязвимости с эксплойтами встречаются примерно одинаково во всех диапазонах оценок (около 29–32%). Это означает, что высокий балл не гарантирует, что уязвимость действительно активно используется или требует первоочередного исправления. Также в данных есть перекос по классам (низких и критических заметно больше, чем средних), что усложняет обучение моделей машинного обучения.

Отдельные примеры подтверждают проблему: две уязвимости с одинаковым CVSS 9.8 могут иметь разный реальный риск в зависимости от того, как и где они используются.

Поэтому более перспективным считается подход, где CVSS используется только как базовый параметр, а итоговая оценка дополняется данными об активной эксплуатации (например, CISA KEV, Shodan), контекстом системы и анализом описаний уязвимостей с помощью NLP. Это позволяет точнее определять, что нужно исправлять в первую очередь.

Список литературы

1. First.org. (2019). Common Vulnerability Scoring System v3.1: Specification Document. FIRST.Org, Inc. https://www.first.org/cvss/v3-1/specification-document

2. National Institute of Standards and Technology. (2024). National Vulnerability Database. https://nvd.nist.gov/

3. Springer, D., Reeder, B., & Morrow, T. (2018). A Study of CVE and CVE Usage. Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Workshop on Programming Languages and Analysis for Security.

4. Freiling, F., & Schwittay, B. (2007). A Common Metric for Information Security Risk Assessment. Proceedings of the 13th European Symposium on Research in Computer Security (ESORICS).

5. Han, Y., & Xu, T. (2017). Automated Prediction of CVSS Scores Using Natural Language Processing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 15(4), 621–632.

6. Yamamoto, Y., & Fujii, T. (2021). Improving Vulnerability Severity Prediction via Deep Learning on NVD Data. Computers & Security, 104, 102–215.

7. Ni, P., Wang, X., & Sun, J. (2023). CVSS Score Prediction with Transformer-based NLP Models. Journal of Information Security and Applications, 72, 103–370.

No 185 (185) (2026)

The scientific heritage
(Budapest, Hungary)
The journal is registered and published in Hungary.
The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields.
Journal is published in English, Hungarian, Polish, Russian, Ukrainian, German and French.
Articles are accepted each month.
Frequency: 24 issues per year.
Format - A4
ISSN 9215 — 0365

All articles are reviewed
Free access to the electronic version of journal
Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.
Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

Chief editor: Biro Krisztian
Managing editor: Khavash Bernat

- Singula Aleksandra - Professor, Department of Organization and Management at the University of Zagreb (Zagreb, Croatia)
- Bogdanov Dmitrij - Ph.D., candidate of pedagogical sciences, managing the laboratory (Kiev, Ukraine)
- Chukurov Valeriy - Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Biochemistry of the Faculty of Physics, Mathematics and Natural Sciences (Minsk, Republic of Belarus)
- Torok Dezso - Doctor of Chemistry, professor, Head of the Department of Organic Chemistry (Budapest, Hungary)
- Filipiak Pawel - doctor of political sciences, pro-rector on a management by a property complex and to the public relations (Gdansk, Poland)
- Flater Karl - Doctor of legal sciences, managing the department of theory and history of the state and legal (Koln, Germany)
- Bence Orban - Doctor of sociological sciences, professor of department of philosophy of religion and religious studies (Miskolc, Hungary)
- Feld Ella - Doctor of historical sciences, managing the department of historical informatics, scientific leader of Center of economic history historical faculty (Dresden, Germany)
- Owczarek Zbigniew - Doctor of philological sciences (Warsaw, Poland)
- Gál Jenő - MD, assistant professor of history of medicine and the social sciences and humanities (Budapest, Hungary)
- Borbély Kinga - Ph.D, Professor, Department of Philosophy and History (Kosice, Slovakia)
- Eberhardt Mona - Doctor of Psychology, Professor, Chair of General Psychology and Pedagogy (Munich, Germany)
- Kramarchuk Vyacheslav - Doctor of Pharmacy, Department of Clinical Pharmacy and Clinical Pharmacology (Vinnytsia, Ukraine)

«The scientific heritage»
Editorial board address: Budapest, Kossuth Lajos utca 84,1204
E-mail: public@tsh-journal.com
Web: www.tsh-journal.com